

**Fertilization
of the Most Important
Commercial Crops in
the Tropic of
Cochabamba**

BY: ARMANDO FERRUFINO

Prepared for the U. S. Agency for International Development under AID Contract No. 511-C-00-99-00114-00

Contact: Steve Huffstutlar, Chief of Party

March 7, 2001
Cochabamba

Edificio Los Tiempos Piso 7
Telf. 252096, 251655, 257827, 530278, 530149 Fax. 232773
Cochabamba, Bolivia

INDICE

	Página
Objetivos	1
Metodología de Trabajo	1
El Trópico de Cochabamba	1
Ubicación Geográfica	1
Fisiografía	1
Clasificación Ecológica y Vegetación	2
Precipitación y Temperatura	2
Suelos	4
Influencia del material parental y la posición fisiográfica en las características químicas de los suelos	4
Mineralogía	9
Temperatura y Régimen de Humedad	9
Clasificación Taxonómica de Suelos	9
Clasificación de suelos según el sistema FCC (Fertility Capability Soil Classification System)	11
Notas Sobre los Factores de Suelo más Restrictivos para el Desarrollo y Producción de Cultivos en el TC	13
Adquisición de Nutrientos por las Plantas	13
Acidez del Suelo	14
Mal Drenaje	15
Respuesta a la Fertilización, Acumulación y Exportación de Nutrientos en los Cultivos Comerciales Priorizados en el TC	17
Banano	17
Acumulación y Exportación de Nutrientos en el Cultivo del Banano	23
Niveles Críticos de Nutrientos en Tejidos Foliareos de Banano	25
Diagnóstico de Deficiencias Nutricionales en Banano	28
Piña	29
Acumulación y Exportación de Nutrientos en el Cultivo de Piña	35
Niveles Críticos de Nutrientos en el Cultivo de Piña	36
Diagnóstico de Deficiencias Nutricionales en el Cultivo de la Piña	37
Palmito	38
Acumulación y Exportación de Nutrientos en el Cultivo de Palmito	39
Niveles Críticos de Nutrientos en Tejidos de Palmito	41
Diagnóstico de Deficiencias Nutricionales en el Cultivo de Palmito	41
Maracuyá	43
Acumulación y Exportación de Nutrientos en el Cultivo de Maracuyá .	46
Niveles Críticos de Nutrientos en Tejidos de Maracuyá	47
Diagnóstico de Deficiencias Nutricionales en Maracuyá	48
Pimienta	49
Acumulación y Exportación de Nutrientos en el Cultivo de la Pimienta	51
Resumen de Recomendaciones de Fertilización para los Cultivos Priorizados del TC	53
Otras Consideraciones para Realizar Recomendaciones de Fertilización en Cultivos en el TC	55

Otras Recomendaciones	55
Literatura Citada	56
Anexos	60

Respuesta a la Fertilización en los Cultivos Comerciales más Importantes del Trópico de Cochabamba

Armando Ferrufino C., Ph.D.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo fueron realizar una revisión, análisis y resumen de la información sobre tipos de suelos en el Trópico de Cochabamba (TC), su fertilidad, y la respuesta de banano, piña, palmito, maracuyá y pimienta a la fertilización con fuentes minerales y orgánicas. Esta información pretende servir como base para plantear otros experimentos de nutrición en los cultivos comerciales mencionados, que permitirán complementar y ampliar la información existente sobre nutrición, y para planificar la difusión y validación multilocacional de prácticas de fertilización. Adicionalmente, se incluye información general sobre requerimientos nutricionales de esos cultivos, síntomas deficiencia, acumulación y exportación de nutrimentos.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

El primer paso fue recopilar la información disponible, realizar un análisis de la misma y presentarla en una forma que permita un entendimiento claro de los avances en el tópico de fertilidad de suelos en el TC. Se hace énfasis en la presentación gráfica de resultados con el fin de hacer fácilmente comprensible la información al lector. Para este efecto, en la mayor parte de los trabajos revisados, se analizó estadísticamente la información encontrada y se la graficó. El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete SAS, versión 6.12.

Es necesario mencionar que la información sobre fertilización de cultivos comerciales en el TC no está fácilmente disponible. La mayoría de ésta se encuentra en informes anuales del IBTA/Chapare, que generalmente contienen muy poca información, lo que hace difícil la interpretación de los resultados. Lastimosamente, la gran mayoría de los estudios sobre fertilización no fueron publicados. Muchos de ellos fueron tesis de grado de estudiantes de agronomía de universidades nacionales que todavía no se defendieron; en algunos casos los datos se encuentran con los estudiantes. En otras ocasiones, datos de algunos años de evaluación no se reportan y no se encuentran disponibles.

EL TRÓPICO DE COCHABAMBA

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La zona colonizada del TC se encuentra geográficamente ubicada entre 16°39' - 17°25' de latitud sur y 64°14' - 65°44' longitud oeste, cubriendo un área aproximada de 550.000 ha (PRAEDAC, 1999).

FISIOGRAFÍA

El TC puede ser dividido en tres subregiones, el pie de monte (con una altitud sobre el mar entre 400 a 1.000 m), las terrazas altas, medias y bajas (entre 200 a 400 msnm) y las llanuras de inundación aledañas a los ríos.

CLASIFICACIÓN ECOLÓGICA Y VEGETACIÓN

De acuerdo con Cochrane (1982) el TC corresponde a un ecosistema de trópico húmedo, pero Tosi (1983) clasifica al área como subtropical muy húmedo debido a las diferencias de temperatura entre las estaciones de máxima y mínima precipitación.

La vegetación del TC muestra una gran diversidad de especies arbóreas y arbustivas que forman bosques donde ocurre un eficiente reciclaje de nutrientes. Los bosques secundarios (chumes) en diferentes estados de regeneración natural, dominan la mayor parte del paisaje en el área colonizada. Una caracterización de los bosques en el área, identificó más de 130 especies de árboles (Von Borries, 1984). Los estratos herbáceos en los bosques, principalmente secundarios, comprenden muchas especies de gramíneas y algunas ciperáceas (CUMAT, 1989) y algunas leguminosas con potencial forrajero (Ferrufino *et al.*, 1991). En los estratos arbustivos del sotobosque es común encontrar heliconias y zingiberáceas, que tienen potencial como plantas ornamentales (Ferrufino *et al.*, 1992).

Los árboles de valor más explotados en la zona son: ochoo (*Hura crepitans*), almendrillo (*Dipteryx odorata*), sangre de toro (*Virola sebifera*), mapajo (*Ceiba pentandra*), blanquillo (*Terminalia* sp.), verdolago (*Terminalia amazonica*), trompillo (*Guarea* sp.), leche-leche (*Sapium* sp.), urupí (*Clorisia ilicifolia*) y mara (*Swetenia macrophylla*) (Mc Caffrey, 1983).

PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA

La precipitación está fuertemente afectada por efectos orográficos (Morris, 1983). La lluvia decrece progresivamente en dirección norte-noreste, desde el piedemonte hasta la vasta llanura amazónica (Tosi, 1983). Para ilustrar este fenómeno, la Figura 1 compara la precipitación anual (promedio de más de 20 años de observaciones) de tres localidades situadas en distintas posiciones respecto a la cadena montañosa: (1) Estación Experimental Chipiriri, cerca del piedemonte (4919 ± 237 mm), (2) Chimoré, a unos 40 Km del piedemonte (3317 ± 213 mm) y (3) Puerto Villarroel aproximadamente a 100 Km de las estribaciones montañosas (2759 ± 141 mm). En las tres localidades, la mayor parte de la precipitación ocurre entre octubre y abril. Nótese que en Chipiriri la precipitación es mayor que la evapotranspiración durante todo el año, mientras que en Chimoré y Puerto Villarroel la evapotranspiración es ligeramente mayor a la precipitación durante los meses de julio, agosto y septiembre.

La temperatura media anual en la mayoría del TC está entre 24 y 25 °C. Las temperaturas decrecen marcadamente durante los meses de mayo, junio, julio y agosto, debido a la influencia de los “surazos” o masas de aire frío que penetran por la parte este de

las tierras bajas de Bolivia desde las pampas argentinas (Figura 2). Las temperaturas mínimas durante esos meses inducen naturalmente la floración en piña, a veces ocasionan daños en los frutos de banano (chilling injury) y producen abortos florales en kudzú (Ferrufino *et al.*, 1992).

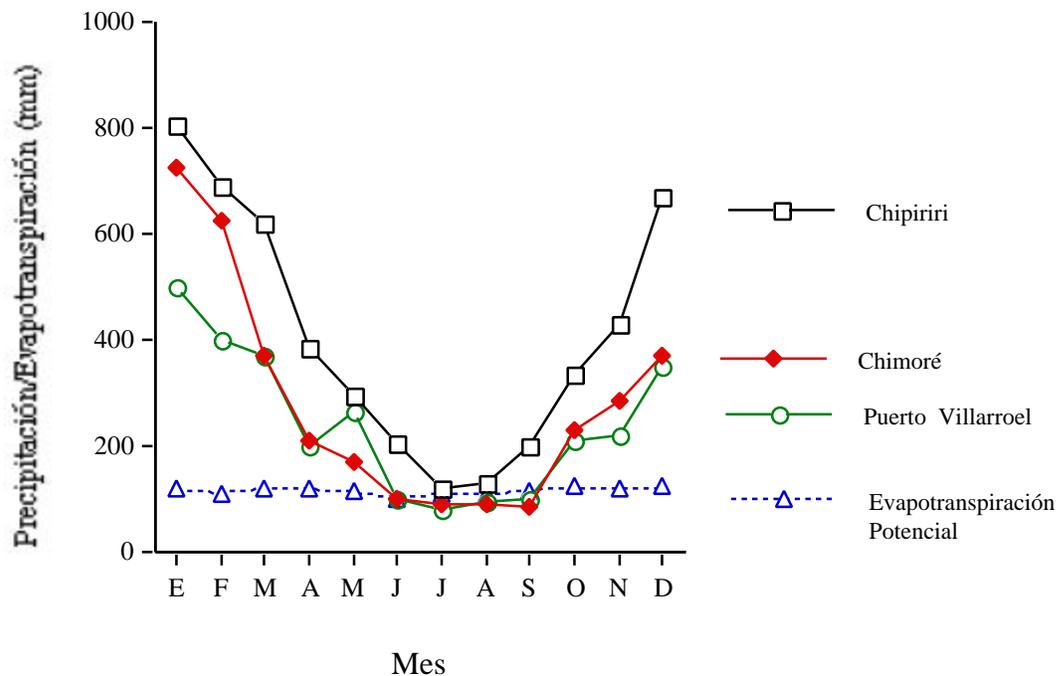


Figura 1. Distribución geográfica de la precipitación en tres sitios del TC con distinta ubicación respecto a la cadena montañosa. La evapotranspiración es un promedio para las tres localidades. Los datos son un promedio de 20 años de observaciones. Adaptada de Ferrufino *et al.* (1992).

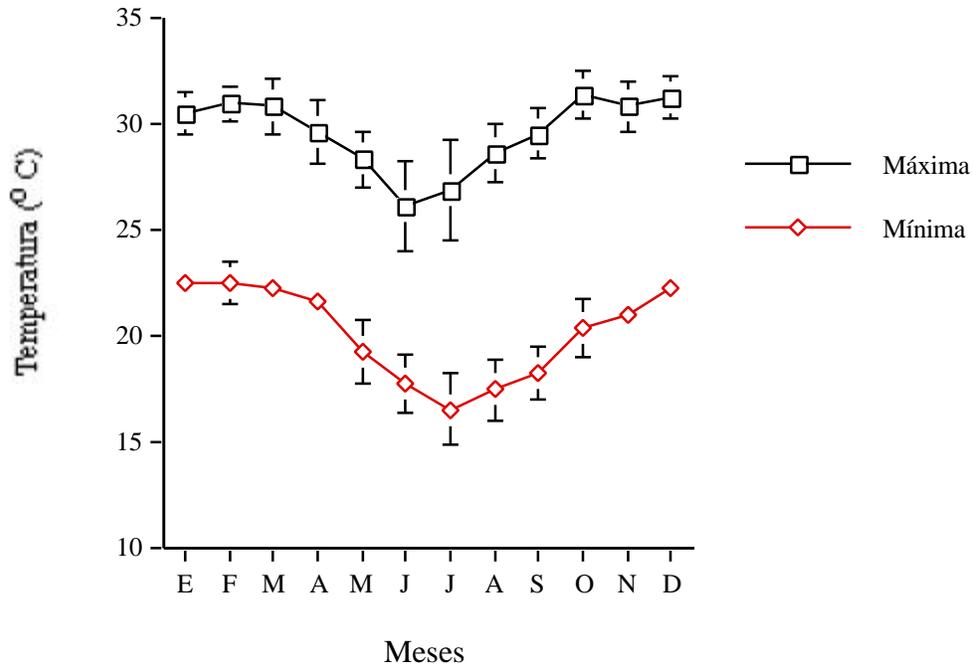


Figura 2. Variación de la temperaturas mínima y máxima a través del año en La Jota, Chimoré. Los datos son un promedio de 12 años. Las barras son la desviación estándar de la media. Adaptada de Logan (1993).

El número de horas-sol en el TC disminuye durante la época de invierno (Figura 3), lo que seguramente está acompañado de una reducción en radiación solar y finalmente con una disminución de la eficiencia fotosintética en las plantas, conduciendo a una disminución en la producción de biomasa. La reducción de la producción de biomasa en las plantas cultivadas en el TC en la época invernal, se estima que no sólo es función de la disminución de las horas-sol, sino también de la disminución de la temperatura y de la precipitación.

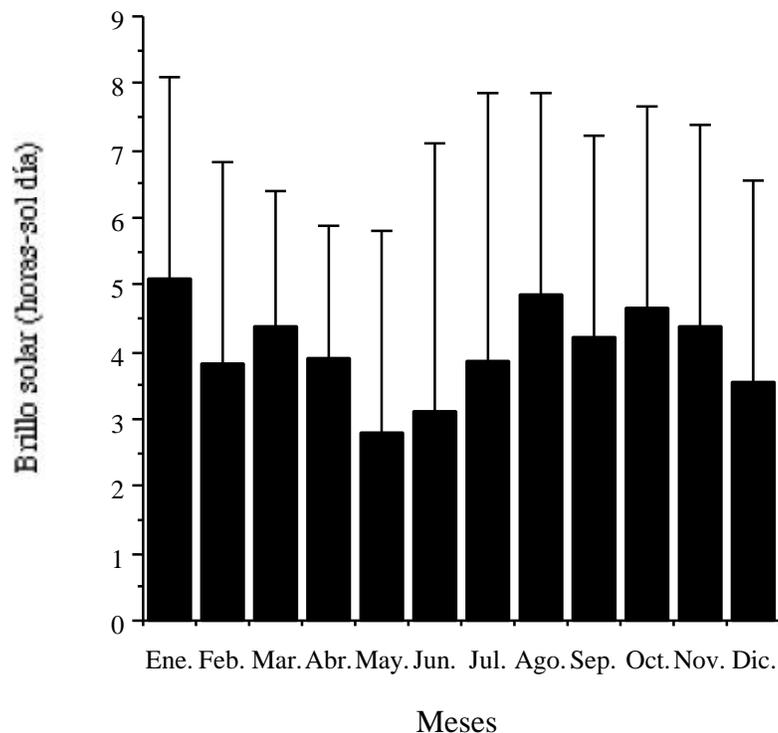


Figura 3. Brillo solar medio diario en la Estación Experimental Chipiriri. Las barras sobre las medias son la desviación estándar. Tomada de Ferrufino *et al.* (1992).

SUELOS

Influencia del material parental y la posición fisiográfica en las características químicas de los suelos

Los suelos del TC son de origen aluvial y residual. Los suelos aluviales del Pleistoceno ocupan las llanuras de inundación y las terrazas bajas, mientras que los suelos residuales, formados *in situ*, ocupan las terrazas altas y las colinas (Alvarado, 1986). Los suelos del TC son variables en características físicas y químicas, y esta variación puede ocurrir en cortas distancias. Las diferencias son mayormente debidas a la posición fisiográfica, que determina el tiempo de exposición a la meteorización, y las diferencias en material parental (Monteith, 1995).

Las características químicas de los suelos de las llanuras aluviales están fuertemente influenciadas por las características químicas de los sedimentos que arrastran los ríos que las inundan, o que las inundaron en el pasado, por lo que los suelos de las llanuras aluviales reflejan cercanamente las propiedades de sus materiales parentales sedimentarios.

En el TC existen cuatro grandes cuencas (1) la del río Chapare, que incluye las cuencas de sus tributarios, los ríos San Mateo y Espíritu Santo; (2) la del río Chimoré; (3) la del río Isiboro; y (4) la de los ríos Ichilo-Sacta. Todos los ríos mencionados se originan en la cadena montañosa de los Andes, en sitios de altitud elevada. Existen otros ríos menores que se originan en el piedemonte como los ríos Coni, Colorado, Mariposas, Ivirgarsama y otros que forman cuencas menos importantes (Figura 4).

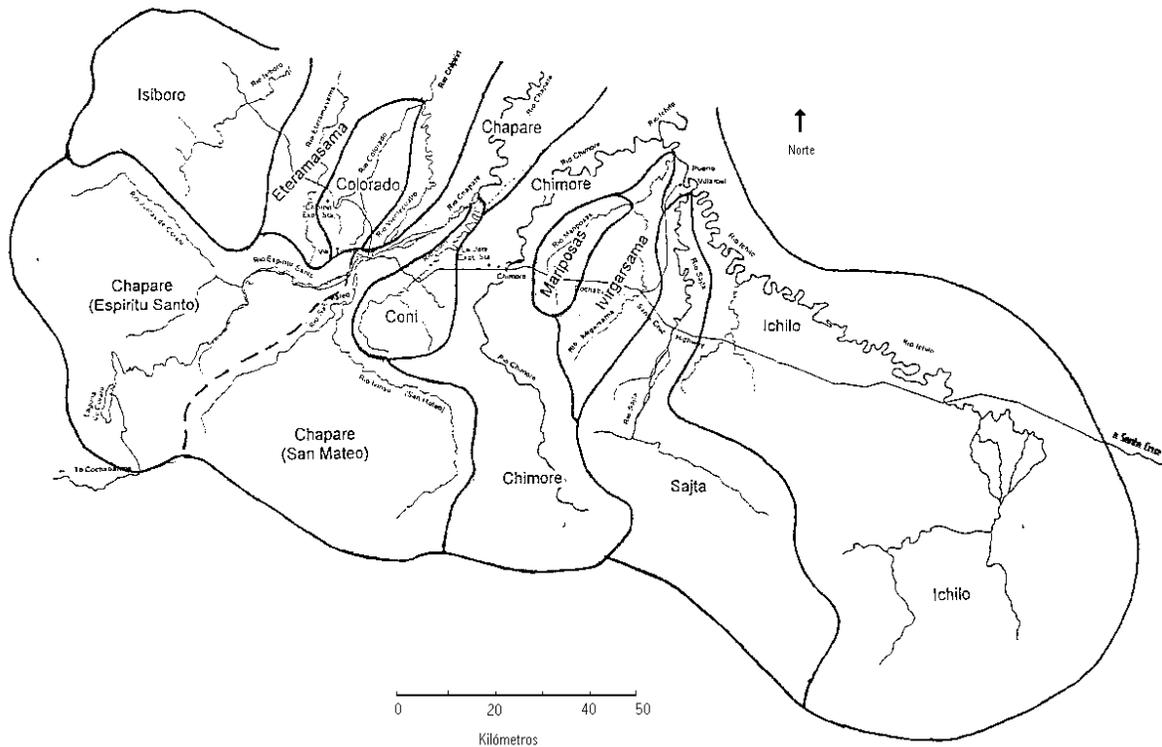


Figura 4. Cuencas hidrográficas del Trópico de Cochabamba. Tomada de Monteith (1995).

La influencia del material parental (sedimentos de los ríos) y de la posición fisiográfica (tiempo de exposición a meteorización) en las características químicas de los suelos se muestra claramente en la Figura 5, donde se comparan suelos ubicados en diferentes posiciones fisiográficas en distintas cuencas. Los suelos de las llanuras aluviales del río Chapare presentan mayores contenidos de calcio y magnesio que similares sitios en otras cuencas. Es notoria la baja cantidad de nutrientes en los suelos de las llanuras aluviales del río Mariposas. En todas las cuencas es evidente una disminución de calcio y magnesio en las terrazas bajas, medias y altas y un incremento en aluminio, en comparación con las llanuras aluviales. Las terrazas altas en todas las cuencas tienen similares características químicas. El contenido de potasio es bajo ($\leq 0.15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) en todas las cuencas y en todas las posiciones fisiográficas. La Figura 6 ilustra la variación en el contenido de bases, la saturación de Al y el pH con la profundidad del suelo en sitios con distinta posición en el paisaje de diferentes cuencas. En general, existe una disminución en los contenidos de Ca, Mg y K con la profundidad del suelo, mientras que el contenido de Al, y más importantemente la saturación de Al, se incrementan.

Los sedimentos acarreados por el río Chapare y el río Isiboro son ricos en carbonatos, debido a que en sus nacientes existen depósitos de dolomita. Los sedimentos de los ríos Chimoré, Ichilo y Sacta contienen bastantes minerales meteorizables, pero con pocos o ningún carbonato. El río Mariposas transporta sedimentos con pocos minerales meteorizables, principalmente cuarzo. Las terrazas altas tienen suelos más intemperizados, expuestos por un mayor tiempo a factores de formación del suelo como clima, organismos, etc (Monteith, 1995).

El contenido de fósforo extraído por el método Olsen es mayor en los llanos aluviales y las terrazas bajas que en los suelos de las terrazas altas (Monteith, 1995). La capacidad de retención de fósforo está correlacionada positivamente con el contenido de arcilla (Cuadro 1). En general, el contenido de fósforo en los suelos del TC no parece ser limitante para el desarrollo y producción de cultivos, aunque podría ser limitante para el crecimiento de plántulas jóvenes de palmito (Dr. Russell Yost, comunicación personal).

Cuadro 1. Adsorción de fósforo en suelos de varias localidades del TC. Los datos son un promedio de dos repeticiones para cada nivel de fósforo.

Sitio	Arcilla (%)	pH	P (mg kg ⁻¹)	
			Adsorción Máxima	A 0.2 mg kg ⁻¹ P en la solución del suelo [§]
La Jota	28	4.5	796	60
Paractito	28	3.9	945	40
Mariposas	27	4.2	958	60
San Julian	21	4.6	870	30
M. Sucre	20	4.4	901	30
Chipiriri	18	3.8	850	30
G. Villaruel	13	5.1	554	20
Colorado	9	4.5	550	20
V. Tunari	8	4.0	451	20

[§] Nivel crítico sugerido para la mayoría de los cultivos

Fuente: Ferrufino y Alvarado (1990).

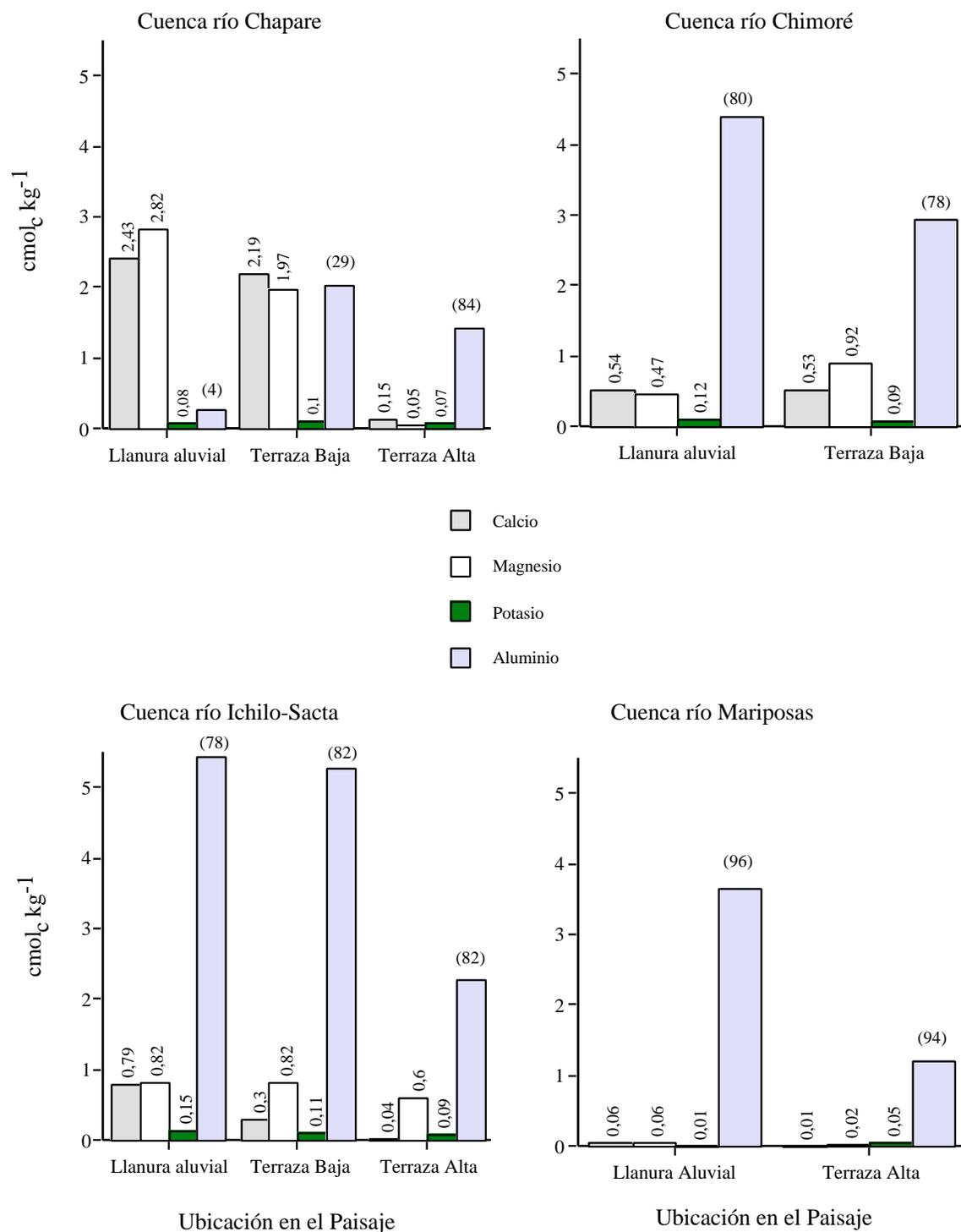


Figura 5. Características químicas de perfiles de suelo ubicados en distintas posiciones fisiográficas en diferentes cuencas del TC. Los datos son medias de las propiedades químicas entre 25 y 100 cm de profundidad. Confeccionada con datos de Monteith (1995). Nota: Los números entre paréntesis corresponden a la saturación de Al, expresada en porcentaje.

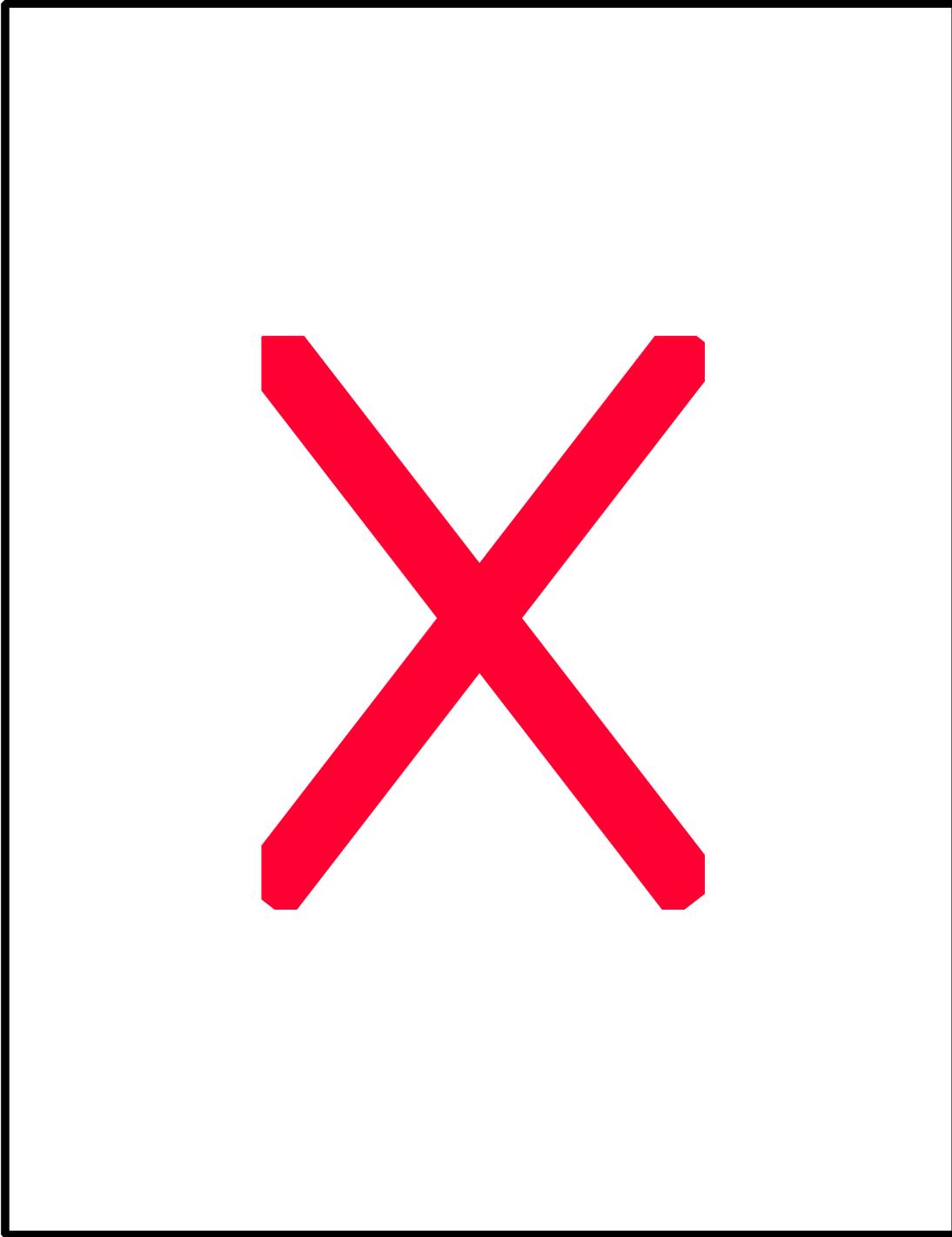


Figura 6. Variación de las características químicas con la profundidad en suelos ubicados en distinta posición fisiográfica en tres cuencas hidrográficas del TC. Confeccionada con datos de Monteith (1995).

Mineralogía

El contenido medio de cuarzo en la fracción de arena es similar en los suelos de las cuencas del río Chapare y Chimoré y varía en un rango de 45 a 47 %. El contenido medio de cuarzo se incrementa en las cuencas de los ríos Ichilo-Sacta e Isiboro (67-93 %) y es notablemente mayor en la cuenca del río Mariposas (93%) (Monteith, 1995).

El contenido de mica en los suelos de las cuencas más importantes en el TC sigue una tendencia opuesta a la descrita para el cuarzo. Los suelos con mayor contenido de mica son los de las cuencas del Chapare y del Chimoré (34-45%); los suelos de los ríos Ichilo-Sacta e Isiboro presentan contenidos medios (21-23%) y los más bajos ocurren en la cuenca del río Mariposas (3%). Además de la diferencia entre cuencas, se observó que el contenido de mica es menor en los suelos más meteorizados. Los suelos de llanuras aluviales y terrazas bajas presentan mayores contenidos de micas que los suelos de las terrazas altas (Monteith, 1995).

La presencia de feldspatos es ligeramente mayor (5%) en los suelos de la cuenca del río Chapare con relación a los suelos de las otras cuencas que tienen un contenido medio de 2% (Monteith, 1995).

La mineralogía de los suelos de la cuenca del Chapare, del Chimoré y el Ichilo-Sacta es similar. En esos suelos dominan las micas (moscovita principalmente y biotita en menor escala) y la caolinita. Es común encontrar también cloritas, minerales hidróxido-interlaminares y pequeñas cantidades de vermiculita y smectita. Los suelos de las cuencas de los ríos Mariposas y Colorado contienen caolinita, mica y smectita (Monteith, 1995). Este último tipo de arcilla puede fijar potasio entre sus láminas, afectando la disponibilidad del mismo.

Las micas y los feldspatos son una importante fuente de potasio. La biotita libera potasio más fácilmente que la moscovita; los feldspatos se meteorizan directamente por hidrólisis y ataque de hidrógeno, liberando potasio (Mc Bride, 1994).

Temperatura y Régimen de Humedad

La temperatura media anual de los suelos del TC a 50 cm de profundidad es mayor a 23°C, lo que define un régimen de temperatura isohipertérmico (Alvarado y Guevara, 1988). Los suelos se caracterizan por un régimen de humedad perúdic dado la alta precipitación del área.

Clasificación Taxonómica de Suelos

En un estudio realizado por PRODES (1980) muestras de suelo fueron obtenidas en unidades fisiográficas representativas y clasificadas de acuerdo al sistema taxonómico del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. En este trabajo, cinco órdenes de suelos fueron identificados: Entisoles, Inceptisoles, Spodosoles, Ultisoles y Oxisoles. Los estudios de Monteith (1995) y Soto y Vargas (1999) confirmaron que los suelos del TC son principalmente Inceptisoles, aunque existen áreas importantes de Entisoles y Ultisoles. Monteith encontró un Mollisol en la cuenca del río Chapare y algunos Alfisoles en las áreas

menos lluviosas cercanas al departamento de Santa Cruz. El Cuadro 2 muestra la clasificación taxonómica de los principales suelos en el TC.

Cuadro 2. Clasificación taxonómica de los suelos dominantes en el TC. Adaptado de Monteith (1995) y Soto y Vargas (1999).

Orden	Gran Grupo	Subgrupo
Entisoles	Tropofluent Troporthent Fluvaquent Fluvaquent Quartzipsamment Quartzipsamment Udipsamments Udifluents Udifluents Udifluents	Typic (aquic) Typic Tropic Aeric Tropic Typic Aquic Typic Aquic Lithic Typic
Inceptisoles	Dystropepts Dystropepts Dystropepts Eutropepts Tropaquepts Tropaquepts	Fluventic Aquic Typic Fluventic Aeric Typic
Ultisoles	Hapludults Paleudult	Typic Typic
Alfisoles	Endoaqualf Kandiudalfs Kandiudalfs	Aeric Typic Mollic
Mollisoles	Endoaquoll	Fluvaquentic

Debido a que los Entisoles son suelos menos intemperizados se puede deducir que son más frecuentes en las llanuras de inundación. Los Inceptisoles pueden encontrarse en las terrazas bajas y medias en regiones con alta precipitación, mientras que los Alfisoles se encuentran en las terrazas medias y bajas en sitios con menor precipitación. Suelos más intemperizados como los Ultisoles pueden encontrarse con mayor frecuencia en las terrazas altas.

En resumen, los Ultisoles presentan baja saturación de bases, alta saturación de aluminio y un contenido bajo de minerales meteorizables. Los Inceptisoles son intermedios en esas características químicas y los Entisoles tienen la más alta saturación de bases, y mayor contenido de minerales meteorizables (Cuadro 3).

Cuadro 3. Características químicas de los mayores órdenes de suelos en el TC. Adaptado de Monteith (1995).

Orden	pH (H ₂ O)	Al	Ca	Mg	Saturación de Al (%)
		----- cmol c kg ⁻¹ -----			
Entisoles	4.5±0.9 [§]	2.8±2.3	1.5±1.7	1.0±0.9	50±38
Inceptisoles	4.3±0.3	2.8±1.9	1.1±1.5	0.9±1.0	68±30
Ultisoles	4.1±0.3	3.0±1.6	0.1±0.06	0.1±0.05	89±10

[§]Desviación estándar de la media

Clasificación de suelos según el sistema FCC (Fertility Capability Soil Classification System)

Mucha de la información proporcionada por la clasificación taxonómica de suelos no es a menudo relevante para el agrónomo para tomar decisiones de manejo de suelos para cultivos (Buol, después de 1986), o muchas veces no es entendida debido a que requiere cierto nivel de formación en el tema. El sistema FCC agrupa suelos de acuerdo al tipo de problemas químicos y físicos que presentan para el desarrollo de cultivos (Sánchez *et al.*, 1982), facilitando así la toma de decisiones agronómicas para resolver restricciones de fertilidad y manejo.

Los componentes del sistema FCC consisten en tipos de suelo y modificadores. Los tipos de suelo identifican la textura de las capas superficiales y sub superficiales. Los modificadores identifican limitaciones de fertilidad y manejo de suelos individuales (Sánchez *et al.*, 1982).

En los últimos años se han realizado varios estudios para caracterizar los suelos del TC usando el sistema FCC (Monteith, 1993, 1994, 1995; Monteith y Quiroga, 1993). Los mapas obtenidos, además de identificar las unidades FCC, dan información sobre las restricciones para el crecimiento de los cultivos comerciales más importantes en el TC: banano, piña, palmito, maracuyá y pimienta en cada una de dichas unidades.

El autor ha podido percibir que muchos técnicos trabajando en el TC consideran que con los mapas FCC, existe información suficiente para poder realizar recomendaciones de fertilización para cultivos. Sin embargo, y acá coincido plenamente con Mc Collum (1993), en que el conocer que un suelo dado tiene una unidad FCC determinada, no es información suficiente para saber que cantidad de nutrimentos es necesario aplicar a un cultivo para alcanzar los máximos rendimientos. Información sobre curvas de respuesta a nutrimentos esenciales en distintos tipos de suelo es necesaria para identificar niveles críticos y realizar recomendaciones de fertilización basadas en análisis de suelos.

Para realizar una estimación de la frecuencia de ocurrencia de las restricciones de suelo más comunes para el crecimiento de cultivos en el área del TC el autor utilizó los mapas FCC confeccionados por Monteith. Se anotaron todas las unidades FCC

identificadas en dichos mapas (222 unidades anotadas, muchas de ellas repetidas a través de la región), y se calculó la frecuencia de aparición de cada unidad, incluyendo el tipo textural y los modificadores. Los valores de frecuencia a los que se hace referencia no dan indicación sobre el área ocupada por los factores restrictivos para el crecimiento de cultivos definidos por los modificadores.

Como resultado del ejercicio mencionado, se concluyó que los suelos y subsuelos francos son los más comunes en el TC, mientras que los arenosos ocurren ocasionalmente. La presencia de subsuelos arcillosos y arenosos, ocurre en un bajo porcentaje (Cuadro 4).

Cuadro 4. Frecuencia relativa de tipos texturales de suelo y subsuelo en los mapas FCC confeccionados para el TC.

Ubicación en el perfil	Tipo Textural	Características[§]	Frecuencia (%)
Capa superficial (20 cm)	L	Suelo franco (<35% arcilla). Tasa media de infiltración.	90.6
	S	Suelo arenoso. Alta tasa de infiltración.	9.4
Capa subsuperficial (> 20 cm)	L	Suelo franco (<35% arcilla). Tasa media de infiltración.	84.7
	C	Suelo arcilloso (>35% arcilla). Baja tasa de infiltración	14.0
	S	Suelo arenoso. Alta tasa de infiltración.	1.3

Fuente: elaboración propia

[§] Modificado de Sánchez *et al.* (1982)

El factor restrictivo para el crecimiento de cultivos más común en el TC es el bajo contenido de potasio de los suelos. La segunda limitación más frecuentemente encontrada es la alta saturación de aluminio y la tercera es la presencia de drenaje imperfecto (Cuadro 5).

Cuadro 5. Frecuencia relativa de presencia de factores restrictivos (modificadores) para el crecimiento de cultivos en los mapas FCC confeccionados para el TC.

Modificador	Características [§]	Frecuencia (%)
k	Valores bajos de potasio intercambiable en los primeros 50 cm	81.5
a	Saturación de Al >60% en los primeros 50 cm	56.3
g	Saturación de agua por largo tiempo en subsuelo y saturación intermitente en capas superficiales	19.4
k+	<10% minerales meteorizables en adición al criterio k	16.7
g-	Saturación de agua por tiempo muy corto	14.9
h	Saturación de Al entre 10-60% en los primeros 50 cm	12.2
e	Baja capacidad de intercambio catiónico efectiva (<4 cmol _c kg ⁻¹)	5.4
g+	Saturación del suelo y subsuelo por tiempo prolongado	2.3

Fuente: elaboración propia

[§]Modificado de Sánchez *et al.* (1982)

Notas Sobre los Factores de Suelo más Restrictivos para el Desarrollo y Producción de Cultivos en el TC

Las deficiencias de macro y micro nutrientes, la acidez y el mal drenaje de los suelos están entre los factores más restrictivos para el desarrollo y producción de los cultivos en el TC. A continuación se hace referencia a la esencialidad de algunos compuestos químicos inorgánicos para las plantas y se hace énfasis en el efecto negativo que tienen la acidez del suelo y el mal drenaje en el desarrollo y persistencia de las raíces de las plantas, órganos indispensables en la adquisición de nutrientes.

Los nutrientes esenciales para el desarrollo y supervivencia de las plantas superiores son: C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cl, Na, Si, Co (Mengel y Kirby, 1987).

ADQUISICIÓN DE NUTRIENTOS POR LAS PLANTAS

Cada nueva célula en las plantas requiere cantidades reguladas de nutrientes minerales para su expansión y funcionamiento saludable. Aunque algunos de ellos pueden provenir de partes senescentes de la planta, es claro que cualquier incremento neto en tamaño depende de la adquisición de cantidades apropiadas de minerales por las raíces (Clarkson y Hanson, 1980). Debido a que el agua y los nutrientes son suplidos por el sistema radicular a la parte aérea de las plantas, son la distribución y actividad de las raíces (tasa de crecimiento y longevidad) en el suelo las que determinan en gran medida el rendimiento de los cultivos. Las condiciones de suelo que mayormente afectan el patrón de distribución y el crecimiento de las raíces incluyen: (1) profundidad de la zona radicular; (2) densidad del suelo, aireación, movimiento de agua, nutrientes, pH y presencia de elementos tóxicos en la zona radicular; y (3) el grado de competencia intra o inter

específica de las raíces resultante de alta población de plantas o infestación de malezas (Brown y Scott, 1984).

Acidez del suelo

Los suelos ácidos, como los que predominan en el TC, están caracterizados por toxicidades de H, Al y Mn, y deficiencias de Ca, Mg, P, Mo y Si (Kamprath, 1984; Foy, 1992). Todas esas restricciones son conocidas como el complejo de acidez del suelo. La toxicidad de Al es el componente más importante de dicho complejo. El daño a las raíces es la expresión más saliente de la toxicidad de Al, debido a que el sitio de acción del Al es el ápice radicular (Bennet y Breen, 1991). La elongación de las raíces pivotantes y laterales es inhibida y las raíces se tornan engrosadas, quebradizas y ocasionalmente necróticas (Taylor, 1988). El sistema radicular se reduce y consecuentemente la adquisición de nutrimentos y agua, conduciendo a reducciones en el rendimiento de los cultivos. Aunque la toxicidad de Al está reconocida desde hace varias décadas, la identidad de las especies tóxicas de Al, es todavía un tema de debate (Kinraide, 1991). Las especies mononucleares (que contienen un átomo de Al) Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$ y $Al(OH)_2^+$, junto con la polinuclear (con más de un átomo de Al) Al_{13} , son consideradas rizotóxicas y dominan en niveles de pH menores a 5.2. En el sistema FCC los modificadores a y h están referidos a la presencia de Al intercambiable en el suelo.

El encalado y el uso de variedades tolerantes al Al son los procedimientos más comunes para aliviar la toxicidad de Al. El encalado, sea con cal común (carbonato o hidróxido de calcio), con dolomita (carbonato de calcio y magnesio) u otro material encalante, ocasiona el incremento en el pH del suelo y la precipitación del Al como gibsita ($Al(OH)_3^0$) un compuesto no tóxico para las raíces de las plantas. La precipitación del Al como gibsita ocurre a un pH de alrededor 5.2. La cal común es un precursor de la fabricación de cocaína, por lo que como su uso está prohibido en el TC. La dolomita, sin embargo, es de uso libre. En las estribaciones cordilleranas y en el piedemonte del TC, existen depósitos de dolomita y magnesita que constituyen un recurso importantísimo para la agricultura de la zona. El Cuadro 6 presenta características químicas de algunos de los depósitos del TC, que evidencian sus buenas cualidades como material neutralizante de la acidez del suelo.

Para ser efectivos, los materiales encalantes deber ser físicamente mezclados con el suelo (Buol y Eswaran, 1993). En sistemas de producción como los predominantes en el TC, la incorporación profunda de materiales encalantes es impráctica y costosa, por lo que corregir la acidez del subsuelo es difícil. Dada la predominancia de subsuelos ácidos en el TC, se hace relevante la investigación sobre la corrección de este factor limitante. Existen experiencias exitosas de corrección de acidez de subsuelo con el empleo de yeso. Esto también debería ser investigado en el TC.

Cuadro 6. Características químicas de rocas de diferentes depósitos de dolomita del TC.

Muestra	g CaCO ₃ g roca ⁻¹	g MgCO ₃ g roca ⁻¹	Radio de CaCO ₃ : MgCO ₃ g	Equivalente CaCO ₃
1	0.52	0.45	1.2	1.05
2	0.22	0.69	0.3	1.03
3	0.35	0.35	1.0	0.77
4	0.52	0.44	1.2	1.05
5	0.39	0.43	0.9	0.90
6	0.37	0.37	1.0	0.81
7	0.11	0.52	0.2	0.73
8	0.20	0.69	0.3	1.02
9	1.03	0.07	15.5	1.11
10	0.25	0.17	1.5	0.45
11	0.56	0.44	1.3	1.08
12	0.97	0.00	na	0.97

Fuente: S. Monteith datos no publicados

MAL DRENAJE

Otra de las restricciones más comunes para el desarrollo del sistema radicular de los cultivos comerciales más importantes del TC es el mal drenaje, fenómeno que conduce a la reducción del oxígeno presente en la zona radicular. El mal drenaje es reconocido por los modificadores g+, g y g- del sistema FCC. La respuesta de las plantas no adaptadas a suelos con mal drenaje, es el dramático incremento en gas etileno en las raíces y tallos, lo que ocasiona rompimiento de las células de las raíces y degradación de la pared celular (Zobel, 1993). Esto ocasiona la interrupción del crecimiento de raíces y la respiración, que resulta en una reducción en la absorción y transporte de nutrimentos y agua afectando los rendimientos y persistencia de las plantas (Baligar *et al.*, 1990).

No sólo la escasez de nutrimentos o su baja disponibilidad, la acidez y el mal drenaje constituyen por si mismos factores que afectan la absorción de nutrimentos por las plantas. En los agro-ecosistemas existen numerosas y complejas interacciones entre factores de planta, suelo, clima y manejo que afectan la adquisición de nutrimentos por las plantas. Como ilustración, el Cuadro 7 lista algunos de los mencionados factores.

Cuadro 7. Factores que afectan a la eficiencia en el uso de nutrimentos en las plantas. Adaptado de Baligar y Bennet (1986) y Baligar *et al.* (1990).

Factores de las Plantas	Factores del Suelo	Factores de Clima y Manejo
<p><i>Geometría de las raíces y los pelos radiculares</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Número y largo • Tasa de crecimiento • Diámetro 	<p><i>Solución del suelo</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Equilibrio iónico • Solubilidad, precipitación • Competencia entre iones • Iones orgánicos • pH • Humedad y temperatura 	<p><i>Clima</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Intensidad y calidad de la luz • Temperatura y humedad
<p><i>Fisiológicos</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Estado de nutrición • Edad y tasa de crecimiento • Razón raíz/parte aérea • Tasa de absorción de agua • Tasa de influjo de nutrimentos • Tasa de eflujo de nutrimentos • Tasa de transporte de nutrimentos 	<p><i>Difusión y flujo de masas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Humedad del suelo • Tortuosidad • Capacidad tampón (buffer) • Propiedades iónicas • Concentraciones iónicas 	<p><i>Manejo</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Naturaleza de los fertilizantes • Formas de aplicación de los fertilizantes
<p><i>Rizosfera</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Solubilidad de nutrimentos • Exudados • Asociación con microorganismos 	<p><i>Otros factores</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Propiedades físico-químicas del suelo 	

Respuesta a la Fertilización, Acumulación y Exportación de Nutrientes en los Cultivos Comerciales Priorizados en el TC

A continuación se presenta una recopilación y análisis de los ensayos de fertilización más importantes realizados en el TC con banano, piña, palmito, maracuyá y pimienta durante los últimos años. Sólo se incluyen los experimentos de los cuales se pudo obtener información suficiente para hacer un análisis e interpretación de los resultados. Por ejemplo, en muchos casos los informes anuales del IBTA/Chapare sólo son descriptivos, en otros casos el sitio experimental está incompletamente descrito, no se indican las características físico-químicas del suelo o no existe información sobre la forma y frecuencia de aplicación de los fertilizantes.

Para una mejor comprensión de los resultados de los experimentos que se discutirán se presentan, hasta donde se pudo obtener información, las características de los sitios experimentales, se describen los tratamientos y el manejo de los experimentos.

BANANO

La primera información encontrada sobre fertilización de banano fue un experimento de recuperación de bananales sobreexplotados (Rojas, 1989). Las características de este ensayo se presentan a continuación:

Características de sitio experimental

- Uso previo del suelo: banano cv. Dwarf Cavendish (Mokotaqui) por 15 años
- Localización: Senda B (cuenca del río Chimoré)
- Suelo: No se presenta información. Probablemente un Entisol o Inceptisol. En el mapa FCC la unidad de este suelo es Lg-hk.

Características del cultivo

- Variedad: Dwarf Cavendish (Mokotaqui)
- Densidad de Plantación: La plantación inicial se hizo con cinco metros de espaciamiento entre plantas. Por características del manejo tradicional (ausencia de poda de hijuelos), la densidad se incrementó en el tiempo.

Características del experimento

- Tratamientos: dosis de nitrógeno (50 y 100 kg ha⁻¹) y de potasio (150 y 300 kg K₂O ha⁻¹ correspondientes a 123 y 246 kg K ha⁻¹, respectivamente) y un testigo sin aplicación.
- Diseño Experimental: no indicado

Fuentes y forma de aplicación de los fertilizantes

- Fuentes: la fuente de nitrógeno fue urea y la fuente de potasio KCl
- Frecuencia y forma de aplicación: No se presenta información

Análisis realizado por el autor de este documento

- Regresiones lineales y no lineales

En este experimento se evaluó, en una sola ocasión, el efecto de la fertilización con nitrógeno y fósforo en el número de racimos, el número de manos y el número de dedos. Se observó un incremento lineal en el número de manos con la fertilización nitrogenada. En contraste, sólo 50 kg N ha⁻¹ fueron suficientes para duplicar el número de racimos. La respuesta a la fertilización potásica siguió una tendencia cuadrática. Se verificó un incremento en el número de racimos y en el número de manos por racimo con la aplicación de 123 kg de K ha⁻¹ (Figura 7).

En 1991 el IBTA/Chapare inició la introducción de cultivares de banano del grupo Cavendish, para incursionar en el mercado de exportación. Las variedades introducidas fueron Grand Naine (Gran Enano), Valery y Williams. En 1992, el IBTA inició dos ensayos de fertilización nitrogenada y potásica con las variedades Grand Naine y Williams en dos de las principales zonas bananeras del TC, Senda B y San Luis. Posteriormente, se inició otro ensayo similar en San Carlos. En los informes anuales del IBTA/Chapare se encontró información parcial sobre los ensayos de Senda B y San Luis. Aparentemente, en el ensayo de San Carlos no se alcanzó a tomar datos.

A continuación se presenta información general sobre los experimentos conducidos en Senda B y San Luis:

Características de los sitios experimentales

- Uso previo del suelo: (a) Senda B: barbecho de edad indeterminada; (b) San Luis: bananal sobre explotado de Dwarf Cavendish (Rolando Escobar, comunicación personal)
- Localización: Senda B (cuenca del río Chimoré) y San Luis (cuenca del río Chapare)
- Suelo: Inceptisol (localidad Senda B). Datos de San Luis no reportados.

pH (H ₂ O)	Ca	Mg	K	Na	Al	CICE	SATAL ^f	P	mo	Textura
	cmol _c kg ⁻¹						%	ppm	%	
5.1 [§]	6.5	1.5	0.51	0.54	1.4	10.45	13	26	2.4	F
5.0 [¶]	3.2	0.8	0.27	0.08	1.0	5.35	19	19	2.6	F

[§]Primer año del experimento

[¶]Cuarto año del experimento

^fSaturación de aluminio

Características del cultivo

- Variedad: Grand Naine (se utilizaron vitroplantas producidas en IBTA importadas de VITROPIC de Francia)
- Densidad de Plantación: 1984 plantas ha⁻¹

Características del experimento (iguales en los dos sitios)

- Tratamientos: Combinación factorial de dosis de nitrógeno (100, 200 y 300 kg N ha⁻¹) y de potasio (200, 400 y 600 kg K₂O ha⁻¹ correspondientes a 164, 328 y 492 kg K ha⁻¹, respectivamente) y un testigo sin aplicación. Se utilizaron 100 plantas por tratamiento en cada localidad.

- Diseño Experimental: Factorial N*K más un testigo sin aplicación. El experimento no tenía replicaciones en las localidades.

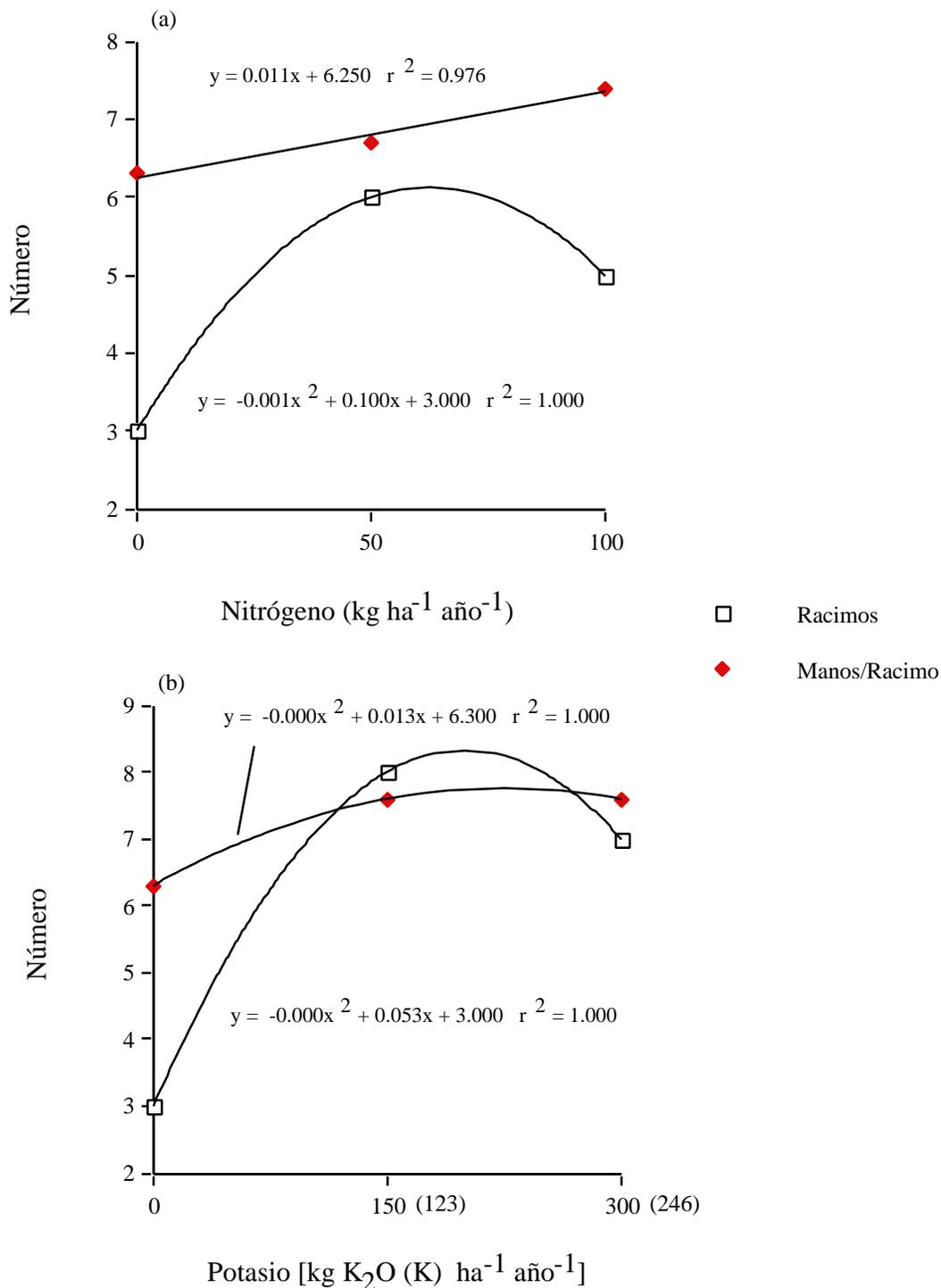


Figura 7. Número de racimos y manos dentro racimos en un bananal de 15 años de la variedad Dwarf Cavendish (Mokotaqui) en respuesta a la fertilización nitrogenada (a) y potásica (b) en la localidad de Senda B (cuenca del río Chimoré). Confeccionada con datos de Rojas (1989).

Fuentes y forma de aplicación de fertilizantes

- Fuentes: la fuente de nitrógeno fue urea y la fuente de potasio KCl
- Frecuencia y forma de aplicación: Se realizaron cuatro aplicaciones por año, iniciándose a los dos meses de la plantación. Los fertilizantes fueron incorporados a 30 cm de distancia de la planta madre.

Análisis realizado por el autor de este documento

- Regresiones lineales y no lineales

En la Figura 8 se presentan los rendimientos obtenidos en la primera y cuarta cosechas en función a la fertilización nitrogenada y potásica en la localidad de Senda B. Por la estructura de los tratamientos, no se pudo analizar los efectos principales de la fertilización con nitrógeno o fósforo, sino la interacción entre esos elementos. En el cuarto año de producción se evidencia una disminución del rendimiento para todos los tratamientos. Según Malloney (comunicación personal) los rendimientos de la primera cosecha no son representativos de los rendimientos de una plantación madura. Sin embargo, para ambas cosechas, la aplicación de $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de nitrógeno más la aplicación de $400 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (328 kg K) condujo a los mayores rendimientos. Coincidentemente, en San Luis con la misma combinación de N y K se obtuvo el mayor rendimiento (Figura 9). Además de obtenerse altos rendimientos con las dosis de N y K mencionadas, un análisis económico llevado a cabo por Vargas (1996) verificó un alto retorno económico con la utilización de esos niveles de fertilización.

Los menores rendimientos obtenidos en San Luis probablemente fueron debidos a que en este sitio el experimento se estableció en una parcela sobre explotada que había sido cultivada por muchos años sin ser fertilizada.

Llama la atención que la absorción de potasio por el testigo sin aplicación (Figura 8) es mayor a la cantidad de potasio registrada en el análisis de suelo. La presencia de minerales portadores de potasio en esos suelos, como feldespatos y micas, puede estar relacionada con este fenómeno. Esto sugiere la necesidad de explorar con más detalle la capacidad de los suelos del TC de suplir potasio nativo a los cultivos y también la dinámica de reciclaje de nutrimentos dentro el agroecosistema.

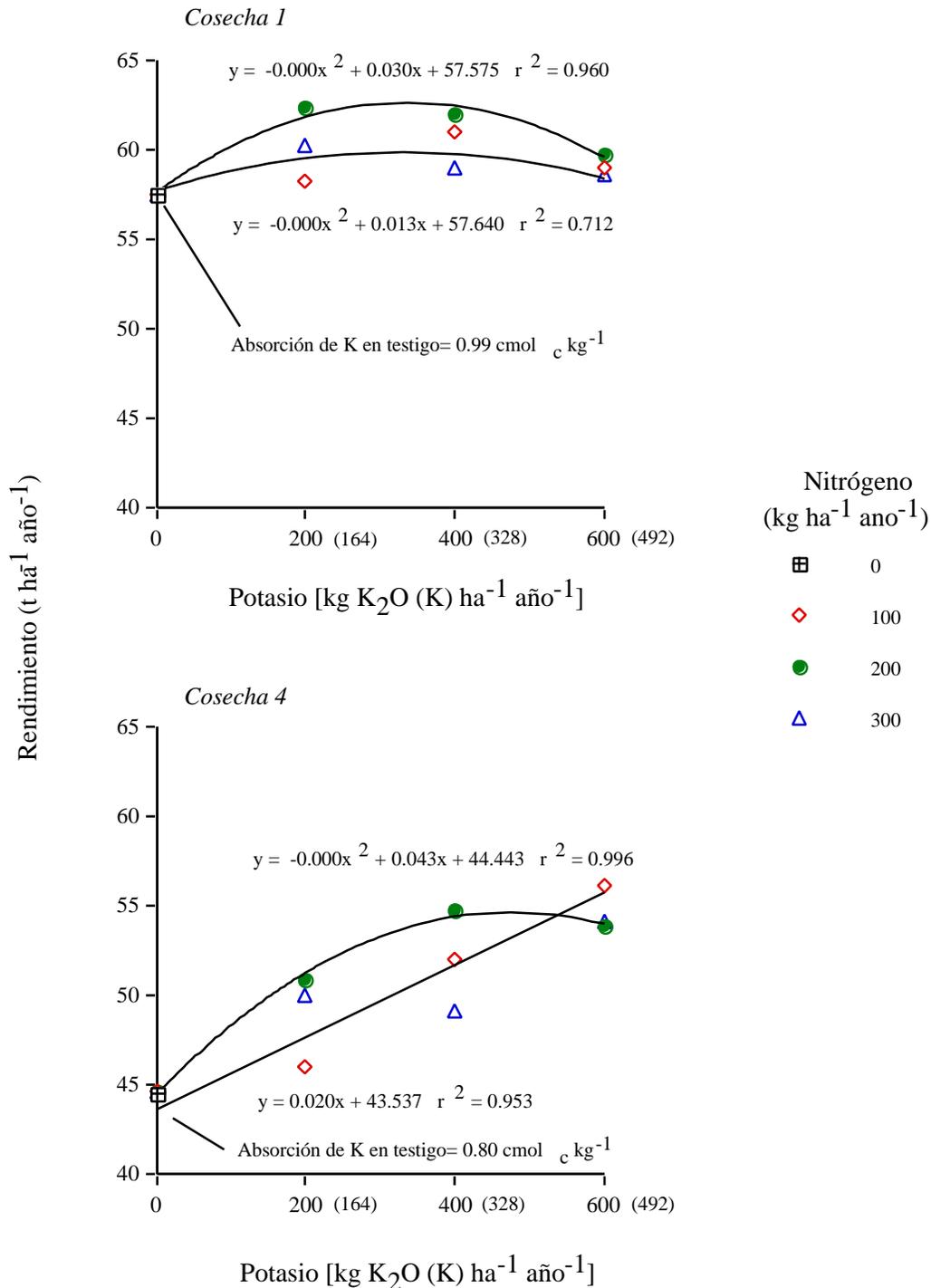


FIGURA 8. RESPUESTA DE BANANO CV. GRAND NAIN A LA INTERACCIÓN DE LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO Y POTASIO EN UN INCEPTISOL DE SENDA B (CUENCA DEL CHIMORÉ). LOS DATOS CORRESPONDEN AL PRIMER Y CUARTO AÑO DE PRODUCCIÓN. CONFECCIONADA CON DATOS DE QUISPE (1993) Y VARGAS (1996).

Nota: Obsérvese la absorción calculada de potasio en el tratamiento testigo.

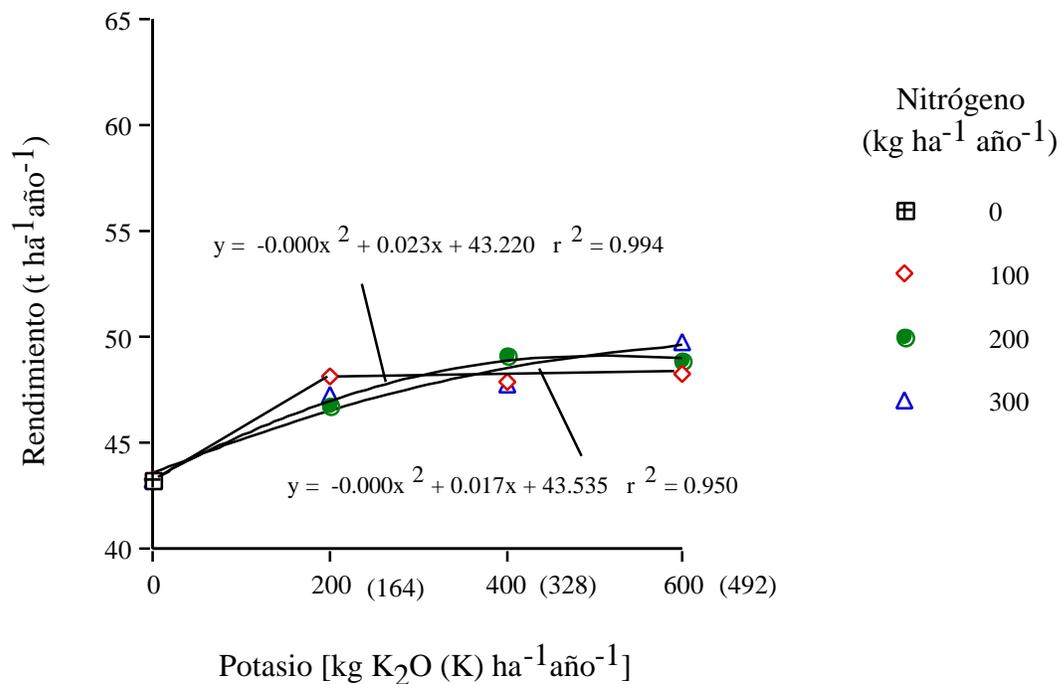


FIGURA 9. RESPUESTA DEL BANANO CV. GRAND NAIN A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y POTÁSICA EN UN ENTISOL DE SAN LUIS (CUENCA DEL RÍO CHAPARE). LOS DATOS CORRESPONDEN A LA PRIMERA COSECHA. CONFECCIONADA CON DATOS DE IBTA/CHAPARE (1993). ESTE EXPERIMENTO FUE CONDUCTIDO POR R. ESCOBAR.

**ACUMULACIÓN Y EXPORTACIÓN DE NUTRIMENTOS EN EL CULTIVO DEL
BANANO**

El Cuadro 8 muestra que el cultivo de banano acumula importantes cantidades de potasio y nitrógeno en la biomasa. Una plantación con un rendimiento de 50 toneladas de fruta por hectárea y por año, puede remover en la fruta más de 700 kg de K, casi 200 kg de N y alrededor de 30 kg de P (Cuadro 9). Los datos de exportación de nutrientes por hectárea/año para una plantación, con la misma producción que la anteriormente mencionada, en Centroamérica alcanza los 400 kg de K, 125 kg de N y 15 kg de P (López y Espinosa, 1995). El Cuadro 9 también permite apreciar que existe una considerable cantidad de nutrientes que permanecen en la plantación después de la cosecha. Una parte de ellos, es potencialmente reciclable en el sistema debido a la mineralización de los residuos de hojas, pseudotallos y otras partes de las plantas que son depositados en el suelo después de la cosecha.

Cuadro 8. Contenido medio de nutrientes en una planta de banano de la variedad Grand Naine. (Adaptado de Marchall y Mallessard, 1979).

Parte de la planta	Materia Fresca	Materia Seca	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----kg-----		-----% de la materia seca-----					
Pulpa	23.0	5.9	0.8	0.09	1.7	0.01	0.1	0.1
Cáscara	15.3	1.4	1.25	0.1	6.0	0.3	0.1	0.08
Raquis	2.9	0.2	1.7	0.2	13.4	0.3	0.2	0.2
Total racimo	41.2	7.5	0.9	0.1	2.8	0.07	0.1	0.1
Raquis interno	14.8	0.7	1.3	0.1	10.3	0.4	0.3	0.1
Hojas	16.6	2.8	1.7	0.1	2.9	1.4	0.3	0.1
Total madre	140.6	15.8	-	-	-	-	-	-
Total hija	13.0	1.0	-	-	-	-	-	-
Total planta	267.4	35.3	-	-	-	-	-	-

Cuadro 9. Cantidad media de nutrimentos en una plantación de banano cv. Cavendish con una densidad de 2000 plantas por hectárea, con hijas y un peso promedio de racimo de 25 kg. Las raíces no están incluidas. (Lahav y Turner, 1992).

Elemento	Cantidad removida en 50 toneladas de fruta fresca	Cantidad remanente en las plantas después de la cosecha	Total	Proporción removida en los frutos
	-----kg ha ⁻¹ -----			%
N	189	199	388	49
P	29	23	52	56
K	778	660	1438	54
Ca	101	126	227	45
Mg	49	76	125	39
S	23	50	73	32
Cl	75	450	525	14
Na	2	9	11	15
Mn	0.5	12	12.5	4
Fe	1	5	6	15
Zn	0.5	4.2	4.7	12
B	1	0.6	1.6	55
Cu	0.2	0.1	0.3	54
Mo	0	0	0	0

La Figura 10 es un diagrama idealizado que permite visualizar fácilmente la cantidad de nutrimentos que pueden ser exportados con la cosecha de fruta y las reservas naturales de un suelo del TC con un contenido promedio de nutrimentos. También permite deducir que para mantener alta productividad, es necesaria la fertilización, principalmente con nitrógeno y potasio. Después de varios años de producción, es probable que también se necesite fertilización fosforada.

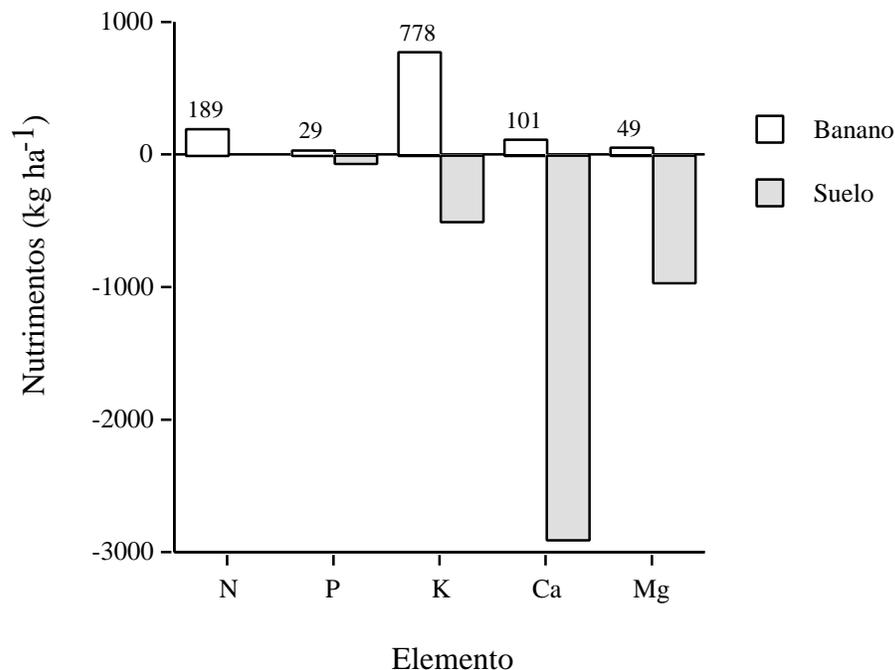


Figura 10. Extracción estimada de nutrientes por hectárea y por año en un bananal produciendo 50 toneladas de fruta ($\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) y contenido estimado de nutrientes disponibles en un suelo representativo del TC (hasta un metro de profundidad).
 Nota: La acidez de subsuelo y el mal drenaje pueden restringir el crecimiento de las raíces hasta un metro de profundidad lo que reduciría la disponibilidad de nutrientes. No se presentan datos sobre el contenido de nitrógeno en el suelo.
 Los datos de suelo son adaptados de Monteith (1995).

Niveles Críticos de Nutrientos en Tejidos Foliare de Banano

En el Cuadro 10 se presentan los niveles críticos en el tejido foliar para el cultivo de banano.

Cuadro 10. Concentraciones críticas tentativas en la materia seca de la lámina de la hoja 3, nervadura central 3 y pecíolo 7 en estado de “hijuelo completamente desarrollado”. Los datos son basados principalmente en el cv. Dwarf Cavendish (Mokotaqui). (Lahav y Turner, 1992).

Elemento	Unidad	Hoja 3	Nervadura 3	Pecíolo 7
N	(%)	2.6	0.65	0.4
P	(%)	0.2	0.08	0.07
K	(%)	3.0	3.0	2.1
Ca	(%)	0.5	0.5	0.5
Mg	(%)	0.3	0.3	0.3
Na	(%)	0.005	0.005	0.005
Cl	(%)	0.6	0.65	0.7
S	(%)	0.23	-	0.35
Mn	(mg kg ⁻¹)	25	80	70
Fe	(mg kg ⁻¹)	80	50	30
Zn	(mg kg ⁻¹)	18	12	8
B	(mg kg ⁻¹)	11	10	8
Cu	(mg kg ⁻¹)	9	7	5
Mo	(mg kg ⁻¹)	1.5-3.2	-	-

En un muestreo realizado en bananales Mokotaqui de baja productividad y de distinta edad en la cuenca del Chimoré (A. Ferrufino, datos no publicados) se encontraron contenidos de potasio en tejido menores a las concentraciones críticas. Los niveles de N, P, Ca, Mg estuvieron por encima de los niveles críticos sugeridos (Figura 11). Esto evidencia la necesidad de fertilización potásica y también sugiere la presencia de un reciclaje importante de nutrimentos a través de los residuos de la cosecha.

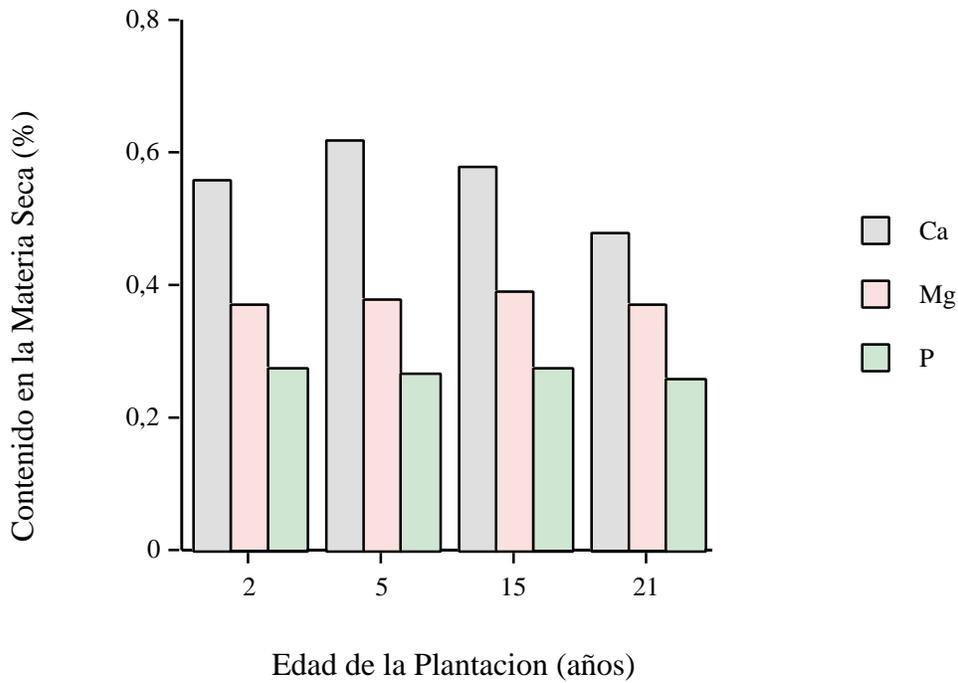
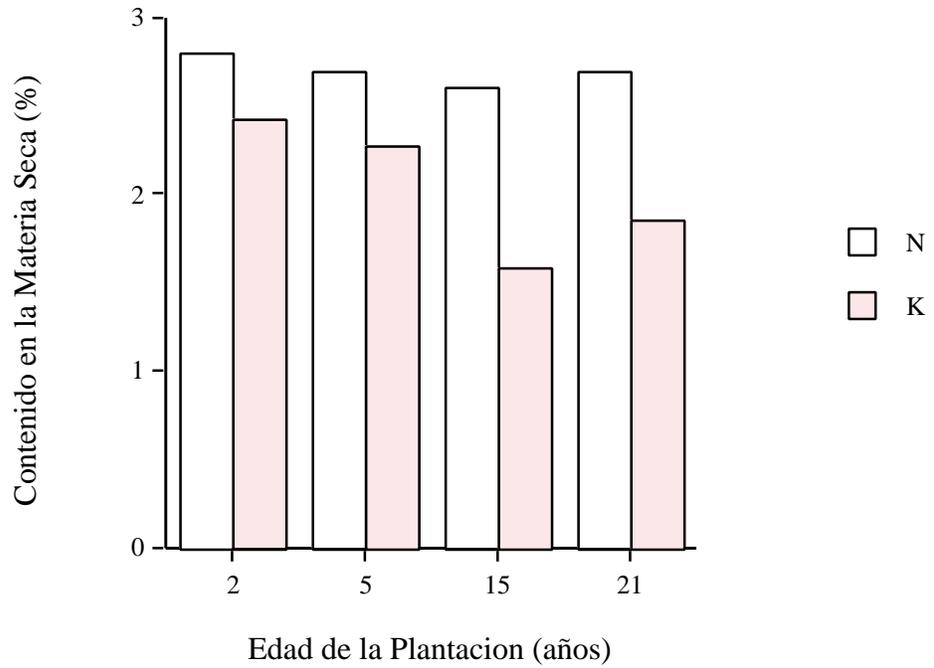


Figura 11. Contenido medio de minerales en la materia seca de la lámina de la hoja tres en bananales Dwarf Cavendish (Mokotaqui) de distinta edad en la zona bananera del río Chimoré. Fuente: A. Ferrufino, datos no publicados.

Diagnóstico de Deficiencias Nutricionales en Banano

En el Cuadro 11 se describen los síntomas de deficiencia de macro y micro elementos en banano, los que pueden ser utilizados como una herramienta de diagnóstico de campo.

Cuadro 11. Diagnóstico de deficiencias nutricionales en banano basado en síntomas visuales. Adaptado de López y Espinosa (1995).

Nutrimento	Síntomas de Deficiencia
N	Amarillamiento de las hojas viejas. Si la deficiencia es severa, el amarillamiento también se presenta en las hojas jóvenes. Los pecíolos de las hojas más afectadas presentan una coloración rosada.
P	Necrosis marginal en forma de sierra en las hojas viejas. El resto de la hoja presenta una coloración verde oscura-azulada. Se reduce el crecimiento de la planta madre y de los hijos, el ritmo de emisión foliar y el largo de las hojas. La planta toma apariencia de “roseta”.
K	Puntas de las hojas viejas de color amarillo-anaranjado. Más adelante, las hojas se enrollan hacia adentro y mueren rápidamente. El crecimiento de las plantas se retrasa y la planta toma un aspecto achaparrado debido al marcado acortamiento de los entrenudos. Los racimos de las plantas deficientes son cortos, de aspecto raquíutico y bajo peso.
Ca	Hojas nuevas con nervaduras secundarias gruesas. Este engrosamiento es acompañado de clorosis marginal entre las nervaduras conforme las plantas crecen. Si la deficiencia es muy severa, las hojas se deforman, casi desapareciendo la lámina foliar dando una apariencia de sierra.
Mg	Clorosis internerval en hojas viejas. Al envejecer más la hoja, se acentúa la decoloración hasta llegar a una necrosis. Plantas en forma de “roseta”. Coloración azul-púrpura de los pecíolos de las hojas más afectadas.
S	Hojas jóvenes de color blanco-amarillento. Si la deficiencia es muy severa, aparecen parches necróticos en los bordes de las hojas y ocurre un ligero engrosamiento de las venas. A veces aparecen hojas sin lámina.
Zn	Rayas clorótico-blanquecinas a lo largo de las venas de las hojas nuevas. El síntoma de deficiencia puede confundirse con infecciones virósicas o daños por herbicidas.
B	Rayas cloróticas perpendiculares a la vena central de las hojas nuevas. Fuerte deformación en el racimo y pobre desarrollo radicular.
Cu	Clorosis generalizada. Curvatura de la vena central dando apariencia de “sombriilla”.
Fe	Clorosis general en las hojas nuevas, más acentuada en espacios internervales. Floración anticipada.
Mn	Clorosis marginal entre las venas de hojas jóvenes, con manchas necróticas causadas por el hongo <i>Deightonella torulosa</i> .

PIÑA

A continuación se presentan los resultados de tres experimentos de fertilización en piña en el TC. El primero, fue un ensayo de fertilización comparando la aplicación al suelo con la aplicación foliar de nitrógeno y potasio en tres localidades:

Características de los sitios experimentales

- Uso previo del suelo: No se presenta información.
- Localización: Santa Rosa (cuenca del río Colorado), La Jota Senda B (cuenca del río Chimoré) y Germán Bush (cuenca del río Coni)
- Suelo: No se presenta información. De acuerdo a los mapas FCC las tres localidades están clasificadas como Lak: suelos francos con elevada saturación de Al y niveles de potasio bajos.

Características del cultivo

- Variedad: Cayena Lisa
- Densidad de Plantación: 51300 plantas ha⁻¹

Características del experimento

- Tratamientos: (1) fertilización foliar con nitrógeno y potasio, (2) fertilización al suelo con nitrógeno y potasio, (3) testigo sin aplicación. Las dosis de fertilizantes fueron iguales para la fertilización foliar y al suelo. Se usaron 94 kg ha⁻¹ de nitrógeno (4 g N planta⁻¹) y 185 kg K₂O ha⁻¹ (152 kg K ha⁻¹) equivalentes a 6 g K₂O (4.9 g K) planta⁻¹. Se empleó una dosis uniforme de fósforo de 2.6 g P planta⁻¹.
- Diseño Experimental: Bloques al azar con cuatro repeticiones en cada localidad. El efecto de localidades o de la interacción tratamiento por localidad no fue evaluado.

Fuentes y forma de aplicación de fertilizantes

- Fuentes: la fuente de nitrógeno fue urea, la fuente de potasio KCl y la fuente de fósforo superfosfato triple.
- Frecuencia y forma de aplicación: Se realizaron ocho aplicaciones foliares (2,4,6,7,9,10.5,11 y 11.5 meses después de la plantación) y cinco aplicaciones al suelo (2,5,7,9,10.5 meses después de la plantación). La aplicación de fósforo se realizó en la plantación.

Tanto la fertilización al suelo como la foliar, incrementaron el rendimiento de fruta respecto al testigo sin aplicación, en las tres localidades estudiadas (Figura 12). No hubo diferencias en rendimiento entre la fertilización al suelo y la fertilización foliar; sin embargo, en términos económicos, la fertilización foliar resultó ser la más conveniente debido a que emplea menos mano de obra (un insumo caro en el TC) que la fertilización al suelo.

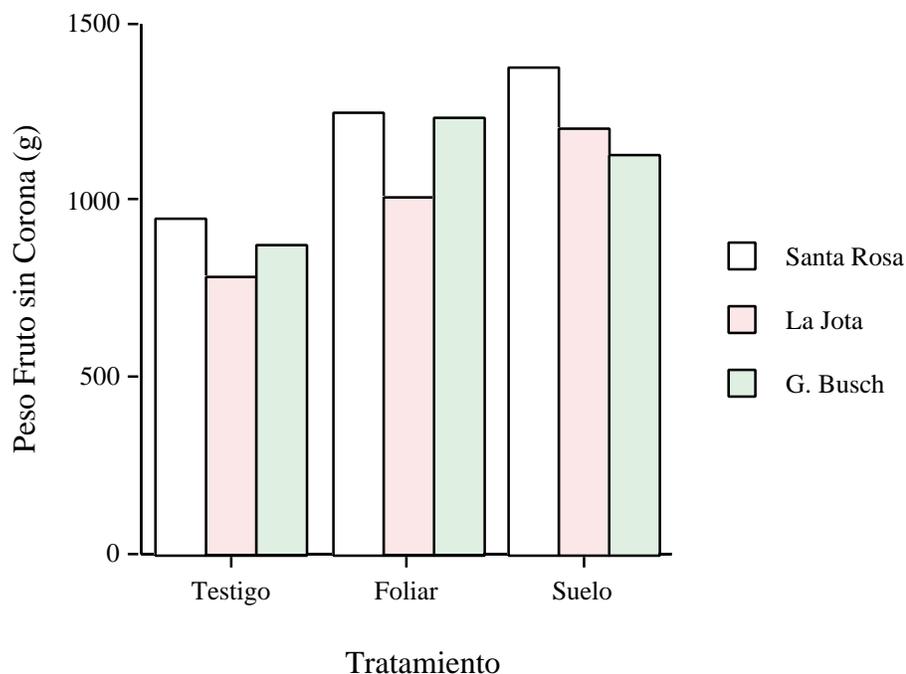


Figura 12. Peso medio de frutos de piña cv. Cayena Lisa afectado por la fertilización nitrogenada ($94 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) y potásica ($185 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$, 152 kg K ha^{-1}) aplicada al suelo y foliarmente en tres Inceptisoles ácidos (Lak). Confeccionada con datos de Maldonado (1998).

Recientemente, un ensayo de fertilización con nitrógeno y fósforo fue implantado en la zona de producción tradicional de piña en el TC (Suipacha-Mariposas). Las características de este experimento se describen a continuación:

Características del sitio experimental

- Uso previo del suelo: Ocho años de cultivo de coca
- Localización: Suipacha (cuenca del río Mariposas).
- Suelo: Quartzipsamments

pH (H ₂ O)	Ca	Mg	K	Na	Al	CICE	SATAL ^f	P	mo	Textura
	cmol _c kg ⁻¹						%	ppm	%	
3.6 [§]	0.1	0.1	0.07	0.04	2.5	2.8	89	2	1.5	F
4.0 [¶]	0.1	0.1	0.05	0.04	2.1	2.4	87	1	1.2	F

[§] 0-20 cm de profundidad

[¶] 20-40 cm de profundidad

^f Saturación de aluminio

Características del cultivo

- Variedad: Cayena Lisa
- Densidad de Plantación: $44000 \text{ plantas ha}^{-1}$

Características del experimento

- Tratamientos: Combinación factorial de dosis de nitrógeno (0, 150, 300 y 450 kg N ha⁻¹) y de potasio (0, 250, 500 y 750 kg K₂O ha⁻¹ correspondientes a 0, 205, 410 y 615 kg K ha⁻¹, respectivamente). Se utilizó una dosis uniforme de fósforo en todos los tratamientos de 11 kg P ha⁻¹.
- Diseño Experimental: Factorial completo N*K con cuatro repeticiones.

Fuentes y forma de aplicación de fertilizantes

- Fuentes: la fuente de nitrógeno fue urea, la fuente de potasio KCl y la fuente de P superfosfato triple.
- Frecuencia y forma de aplicación: Se realizaron 10 aplicaciones foliares por año.

Análisis realizado por el autor de este documento

- Análisis de varianza y regresiones lineales y no lineales.

Al momento de la redacción de este trabajo, no se había cosechado todavía la fruta, por lo que se presentan datos de peso fresco de la hoja D, variable altamente correlacionada con el peso del fruto (Figura 13).

El análisis estadístico de los datos de este experimento mostró la ausencia de interacción N*K, por lo que se presentan los efectos principales de esos dos nutrimentos en el peso de la hoja D.

La respuesta a potasio fue cuadrática (Figura 14). El punto de inflexión de la curva de respuesta se verificó en la máxima dosis de K (625 kg ha⁻¹). La respuesta a nitrógeno fue lineal, lo que significa que se encontraría respuesta a la aplicación de nitrógeno a dosis aún más elevadas que la máxima en este experimento (450 kg ha⁻¹).

En otro experimento reciente, se estudió la respuesta del cultivo de piña a la fertilización con estiércol vacuno. La fertilización orgánica de la piña tiene potencial para ser utilizada en la zona ganadera del TC, donde es habitual que los productores mantengan parte del ganado confinado en corrales durante la noche o durante el ordeño, lo que les permite contar con ciertas cantidades de estiércol que puede ser utilizado para la fertilización de cultivos, entre ellos la piña.

Esta investigación tuvo las siguientes características:

Características del sitio experimental

- Uso previo del suelo: No se indica; probablemente pastura
- Localización: Entre Ríos (cuenca del río Ichilo-Sacta)
- Suelo: No se presenta información. Probablemente un Ultisol

Características del cultivo

- Variedad: Cayena Lisa
- Densidad de Plantación: 44000 plantas ha⁻¹

Características del experimento

- Tratamientos: dosis de estiércol vacuno (0, 5, 7.5 y 10 t ha⁻¹). No se indican las características químicas del estiércol
- Diseño Experimental: Bloques completos al azar con tres repeticiones.

Fuentes y forma de aplicación de fertilizantes

- Fuentes: la fuente fue estiércol vacuno de la finca donde se efectuó el trabajo
- Frecuencia y forma de aplicación: Se realizó una sola aplicación de estiércol fresco en la base de la planta a los cuatro meses de la plantación. El estiércol no fue incorporado (Y. Maldonado, comunicación personal).

Análisis realizado por el autor de este documento

- Análisis de varianza.

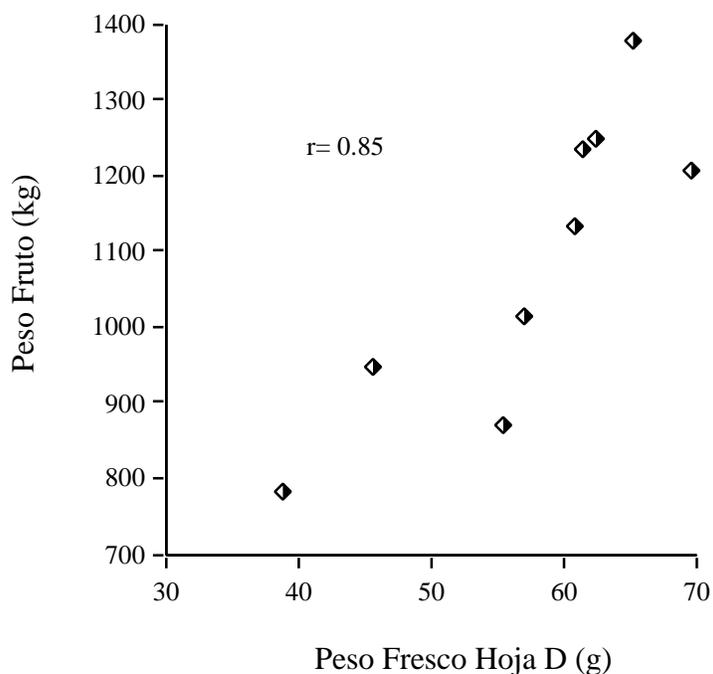


Figura 13. Correlación entre el peso fresco de la hoja D y el peso del fruto en piña cv. Cayena Lisa. Confeccionada con datos de Maldonado (1998).

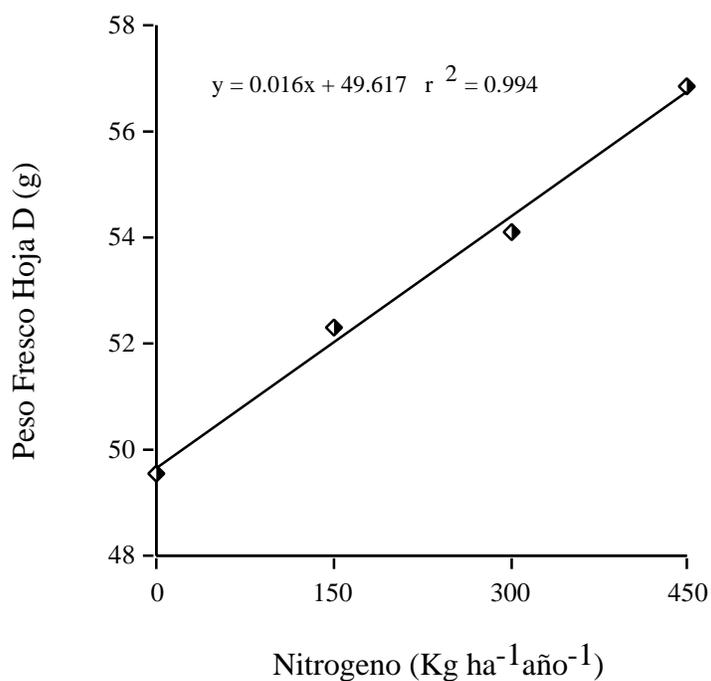
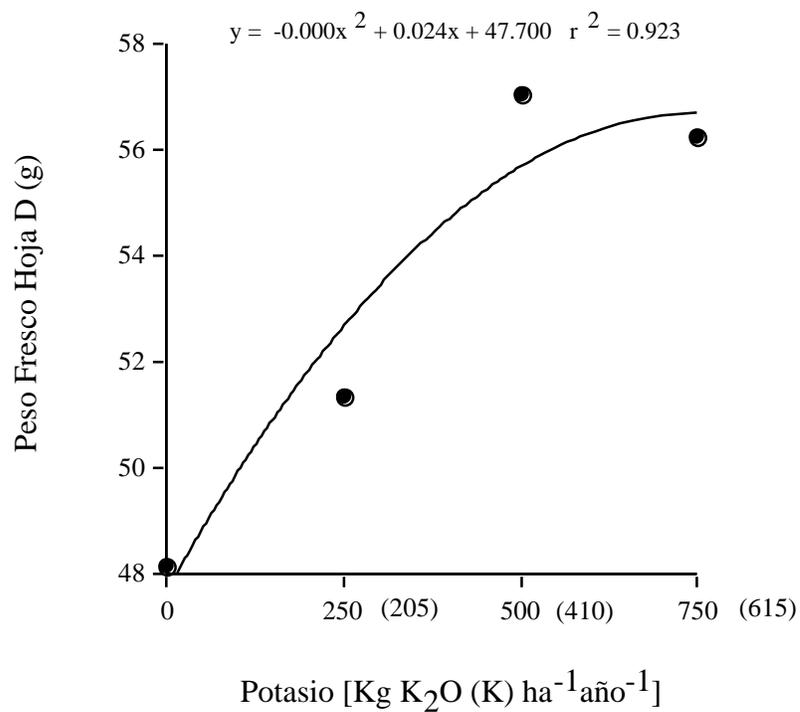


Figura 14. Respuesta de piña cv. Cayena Lisa a la fertilización foliar con nitrógeno y potasio en un suelo ácido (Quartzipsamments) de Suipacha (cuena del río Mariposas). Confeccionada con datos de Vargas *et al.* (1999, información no publicada).

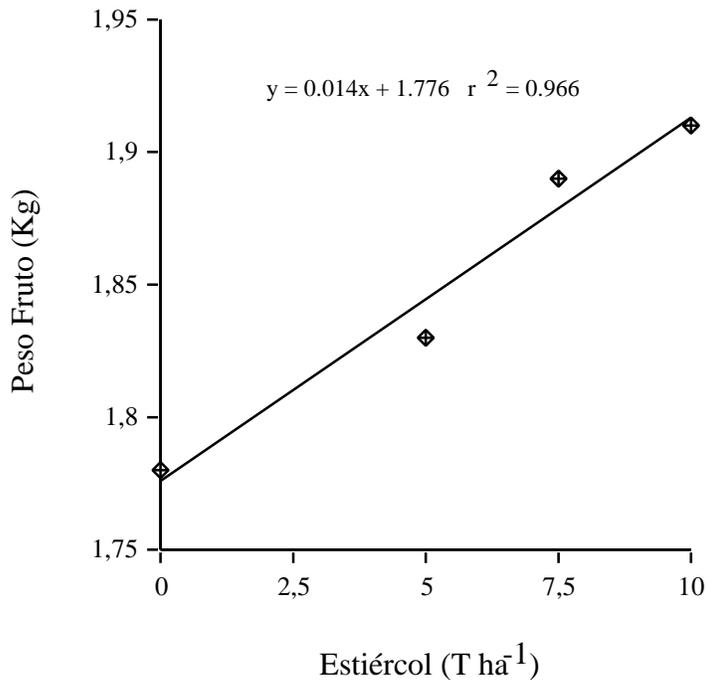


Figura 15. Peso de frutos de piña cv. Cayena Lisa en respuesta a la fertilización con estiércol de ganado vacuno en un Ultisol de la localidad de Ichoa. Confeccionada con datos de Maldonado (1999, información no publicada).

Se observó una respuesta lineal a la aplicación de estiércol vacuno (Figura 15) aunque, debido a la ausencia de análisis químico del estiércol, fue imposible determinar la cantidad de macro y micro nutrientes que fueron aplicados. Se estima que debido a que el estiércol fue aplicado en una sola oportunidad las pérdidas de nutrientes, especialmente nitrógeno, hayan sido altas. Es necesario realizar más investigación sobre dosis y frecuencia de aplicación para lograr información más confiable. Sin embargo, este experimento permite visualizar el potencial de utilizar fertilizantes orgánicos con éxito en la producción de piña, en sitios donde este recurso es fácilmente disponible y no se tienen que pagar gastos de transporte.

ACUMULACIÓN Y EXPORTACIÓN DE NUTRIMENTOS EN EL CULTIVO DE PIÑA

El Cuadro 12 muestra la elevada cantidad de nitrógeno y potasio que se puede acumular en una plantación intensiva de piña. También muestra la elevada extracción de potasio con la cosecha de los frutos. No se presentan datos de la exportación de nutrientes que ocurre cuando se exportan hijuelos del campo, la que se estima puede ser alta debido a la gran cantidad de biomasa que sale del sitio. La Figura 16 es un diagrama que permite observar la extracción estimada de nutrientes con la cosecha de fruta y relacionarla con las reservas nativas de un suelo promedio del TC. Es claro que para mantener altos niveles de producción por varios años, se requerirá de fertilización potásica y nitrogenada. Es probable que después de varios años de producción, la fertilización con fósforo sea requerida.

Cuadro 12. Absorción de nutrientes en una plantación de piña con una densidad de 50000 plantas por hectárea y acumulación de éstos en los frutos. Adaptado de Von Uexkull, 1985 y Py *et al.*, 1987.

Elemento	Nutrimentos acumulados en una plantación con 50 toneladas de materia seca por hectárea [¶]	Nutrimentos acumulados en frutas
	-----kg ha ⁻¹ -----	
N	392	50
P	35	3
K	476-650	80-195
Ca	252	15
Mg	135	5
S	116	nd

[¶] Los datos provienen de la acumulación de nutrientes en la planta entera.

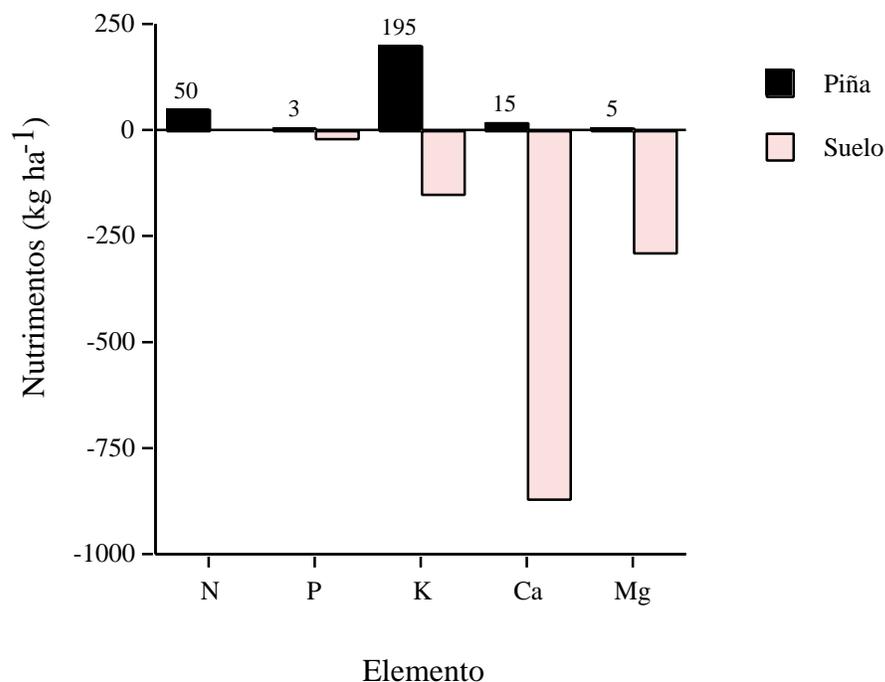


Figura 16. Extracción estimada de nutrientes por ha y por año en una plantación de piña cv. Cayena Lisa con una producción de 80 t ha⁻¹ año⁻¹ y contenido estimado de nutrientes disponibles en un suelo representativo del TC (hasta 30 cm de profundidad). Los datos de suelo son adaptados de Monteith (1995).

NIVELES CRÍTICOS DE NUTRIMENTOS EN TEJIDOS DE PIÑA

Los niveles críticos internos identificados por varios autores para la piña son presentados en el Cuadro 13, y en el Cuadro 14 los síntomas de deficiencia de macro y micro nutrientes en este cultivo.

Cuadro 13. Niveles críticos foliares en la hoja D. Adaptado de Lacoeyille (1987) y Vélez-Ramos *et al.* (1991).

Elemento	IRFA (Francia)	Puerto Rico
	-----% de la materia seca-----	
N	1.20	1.5 - 2.00
P	0.08	0.12 - 0.15
K	2.80	3.00 - 3.50
Ca	0.10	0.25 - 0.30
Mg	0.18	0.20 - 0.25

Diagnóstico de Deficiencias Nutricionales en el Cultivo de la Piña

Cuadro 14. Diagnóstico de deficiencias nutricionales en piña basado en síntomas visuales (Py *et al.*, 1987).

Nutrimento	Síntomas de Deficiencia
N	Clorosis afectando la planta entera (plantas jóvenes las más afectadas). Plantas con hojas delgadas.
P	Puntas de las hojas secas. Manchas de color café claro; hojas sin manchas presentan color verde oscuro.
K	Manchas elongadas muy pequeñas de color amarillo en los bordes de las hojas. Puntas de hojas secas.
Ca	Hojas pequeñas que se rompen fácilmente.
Mg	Clorosis severa principalmente en las hojas viejas. Las partes de las hojas que están sombreadas permanecen verdes con manchas amarillas en el centro de la lámina.
Mn	Clorosis ligera en toda la planta; hojas moteadas.
Zn	Clorosis ligera en toda la planta; manchas amarillentas y ataques de <i>Diaspis</i> spp.
Fe	Clorosis con apariencia de “malla verde”. Frutos pequeños de color púrpura a rojo.
Cu	Las hojas tienen un pronunciado “gutter shape”.

Palmito

En el TC se condujeron algunos experimentos de fertilización en palmito, sin embargo, sólo uno de ellos, llevado a cabo en la E.E. La Jota, proporcionó datos que pudieron ser analizados. Las características de esta investigación se presentan a continuación:

Características del sitio experimental

- Uso previo del suelo: Información no disponible. Probablemente bosque secundario.
- Localización: Estación Experimental La Jota (cuenca del Chimoré).
- Suelo: No se presenta información, probablemente un Typic Dystropept. La clasificación FCC es Lak, suelo con alta saturación de aluminio y bajo potasio.

Características del cultivo

- Variedad: Germoplasma, con espinos, proveniente de Costa Rica.
- Densidad de Plantación: La densidad fue una variable independiente, que se describirá en los tratamientos.

Características del experimento

- Tratamientos: Combinación de tres densidades (4444, 5333, 6667 plantas ha⁻¹), cuatro dosis de nitrógeno (0, 50, 100, 150 kg ha⁻¹ año⁻¹) y dos dosis de cal (0 y 1000 kg ha⁻¹). Exceptuando el testigo, todos los tratamientos recibieron una aplicación de 22 kg de P ha⁻¹.
- Diseño Experimental: Parcelas divididas con cuatro repeticiones. Las parcelas principales fueron las densidades y las subparcelas la combinación de nitrógeno y encalado.

Fuentes y forma de aplicación de fertilizantes

- Fuentes: urea y 17-17-17.
- Frecuencia y forma de aplicación: Dos aplicaciones por año de fertilizantes y una aplicación de cal, que fue incorporada.

Análisis realizado por el autor de este documento

- Análisis de varianza y regresiones lineales y no lineales.

El rendimiento de palmito envasable se incrementó con la densidad de plantación. La respuesta a la fertilización nitrogenada fue cuadrática para la mayor densidad de plantación. A esta densidad, el máximo rendimiento se alcanzó con la aplicación de 100 kg ha⁻¹ de N. En densidades menores, la respuesta a nitrógeno fue evidente sólo cuando se aplicaron 50 kg ha⁻¹ (Figura 17). Estos datos pueden considerarse como preliminares. Es necesario evaluar con más detalle frecuencias y dosis de aplicación en un período de al menos tres años, y en varias localidades, para tener información más consistente.

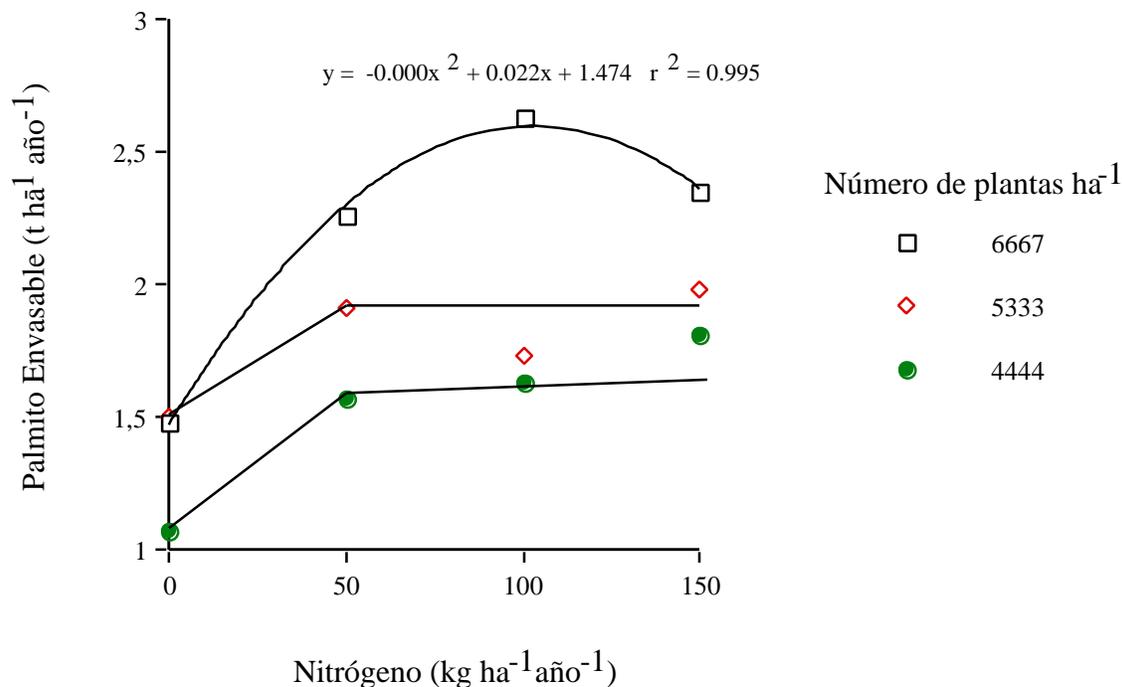


Figura 17. Rendimiento de palmito envasable afectado por la densidad de plantación y la fertilización nitrogenada en un Inceptisol ácido (Lak) de la estación Experimental La Jota. Los datos están promediados sobre dos dosis de encalado, debido a la ausencia de efecto de este factor.

Adaptada de Tames (datos no publicados).

Acumulación y Exportación de Nutrientes en el Cultivo de Palmito

Existe una importante acumulación de nitrógeno y potasio en la biomasa de una plantación madura de palmito, elementos que también son exportados del sistema en mayor proporción que otros nutrientes esenciales (Cuadro 15). Nótese que si bien la exportación de nitrógeno es algo menor a la de potasio, la acumulación de nitrógeno en la biomasa aérea es casi el doble que la de potasio, lo que da una idea de la importancia de la fertilización nitrogenada en este cultivo. La Figura 18 ilustra el hecho que para obtener rendimientos altos por un período prolongado de tiempo, se requerirá de la adición de fertilizantes.

Después de la cosecha se depositan sobre el suelo residuos de hojas y tallos, que constituyen una importante fuente de nutrientes que se reciclan a través de la mineralización. En una plantación de 16 años localizada en Costa Rica, se estimó que 276, 22 y 149 kg ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente, son depositados anualmente sobre el suelo en la biomasa de hojas remanente de la cosecha del palmito. Estudios sobre la mineralización de esos residuos, demostraron que el orden de liberación de nutrientes fue K>N>P>Mg>Ca. Todo el potasio en la biomasa foliar fue liberado en poco más de 20 semanas, mientras que 80% del nitrógeno fue liberado en casi 50 semanas (Soto, 1999).

Cuadro 15. Biomasa en una plantación de palmito intensivamente manejada en el trópico húmedo de Costa Rica y acumulación de nutrientes en la biomasa total de la plantación y en el palmito.

Componente Plantación	Peso Seco (kg ha ⁻¹) [§]	Acumulación de Nutrientos (kg ha ⁻¹ año ⁻¹) [§]								
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Plantas más residuos	19500	503	33.1	217	60	39	0.16	1.8	2.2	0.2
Palmito neto	1700	28	4.8	31	5	4	0.02	0.0	0.1	0.1
Total Plantación	21200	531	37.9	248	65	43	0.18	1.8	2.3	0.3

[§] Adaptado de Herrera (1989) y basado en una plantación con una densidad de 3200 plantas ha⁻¹ y una producción de 9600 palmitos ha⁻¹ año⁻¹.

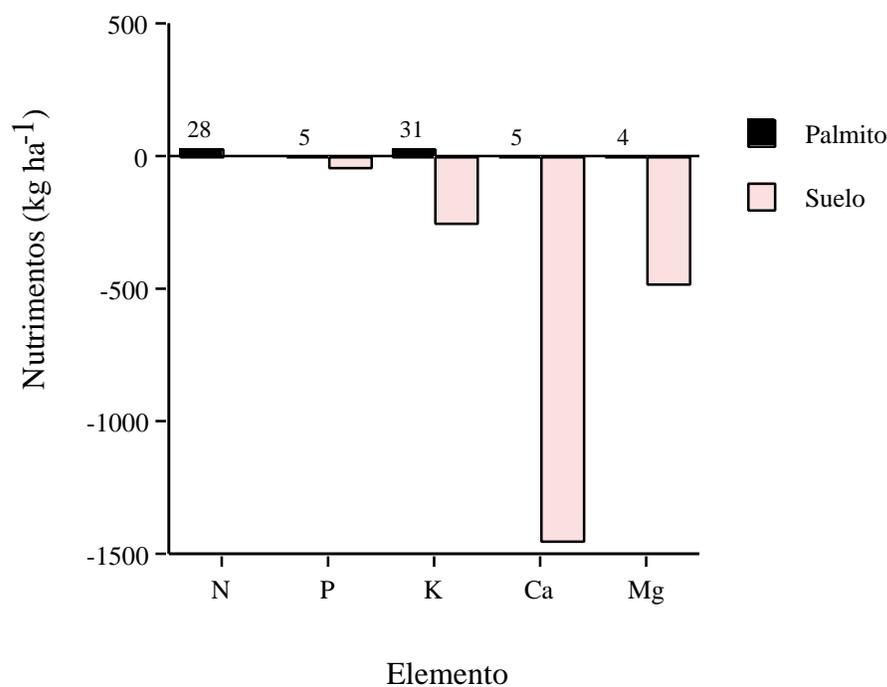


Figura 18. Extracción estimada de nutrientes por hectárea y por año en una plantación de palmito sembrada a una densidad de 3200 plantas ha⁻¹ y una producción de 9600 palmitos ha⁻¹ año⁻¹ y contenido estimado de nutrientes disponibles en un suelo promedio del TC (hasta 50 cm de profundidad).

Nota: La acidez de subsuelo puede restringir el crecimiento de las raíces lo que reduciría la disponibilidad de nutrientes.

Los datos de suelo son adaptados de Monteith (1995).

Niveles Críticos de Nutrimientos en Tejidos de Palmito

No se ha encontrado en la literatura información sobre niveles críticos de macro y micro nutrientes en tejidos de palmito, por lo que en el Cuadro 16 sólo se presenta el rango de concentraciones de esos elementos encontrados en las zonas palmiteras de Costa Rica.

Cuadro 16. Concentración usual de nutrientes en el tejido foliar de palmito en Costa Rica.

Elemento	Concentración Usual[§]
<i>Macro nutrientes</i>	%
Nitrógeno	2.50 – 4.00
Fósforo	0.15 – 0.30
Potasio	0.80 – 1.50
Calcio	0.20 – 4.00
Magnesio	0.20 – 0.30
<i>Micronutrientes</i>	mg kg ⁻¹
Hierro	100 – 200
Cobre	8 - 15
Zinc	15 – 25
Manganeso	50 – 200
Boro	10 - 15

Fuente: Adaptado de Molina (1999)

[§] Concentraciones de nutrientes usualmente encontradas en muestras analizadas en el laboratorio de la Universidad de Costa Rica

Diagnóstico de Deficiencias Nutricionales en el Cultivo de Palmito

En el Cuadro 17 se describen los síntomas de deficiencia de elementos esenciales en el cultivo del palmito.

Cuadro 17. Diagnóstico de deficiencias nutricionales en palmito basado en síntomas visuales. Adaptado de Molina (1999).

Nutrimiento	Síntomas de Deficiencia
N	Plantas pequeñas con poco desarrollo. Hojas viejas de color verde claro, con tendencia a amarillarse en las extremidades. Hojas nuevas de color verde normal.
P	Paralización del crecimiento. No hay otros síntomas evidentes.
K	Clorosis seguida por necrosis en los bordes de las hojas viejas. Los síntomas iniciales son manchas cloróticas definidas en las lámina foliar de hojas intermedias y viejas.
Ca	Hojas nuevas con coloración verde clara, apariencia ondulada y con ausencia de espinas en la lámina foliar.
Mg	Clorosis internerval en hojas viejas, que se inicia en la punta de las hojas.
S	Pérdida de color verde en la punta de las hojas viejas.
B	Hojas viejas con coloración verde intensa y leve ondulación de la lámina foliar. Hojas nuevas con doblamiento abrupto de foliolos apicales y tendencia de foliolos a unirse por su ápice.

Maracuyá

Se han realizado dos experimentos importantes en fertilización del cultivo de maracuyá, los cuales son descritos en este trabajo. El primero, fue un estudio sobre la respuesta de este cultivo a la fertilización con nitrógeno y potasio, el cual se presenta seguidamente:

Características del sitio experimental

- Uso previo del suelo: Seis años previos al experimento con cultivo secuencial de arroz, frijol, yuca y jengibre.
- Localización: Estación Experimental La Jota, cuenca del río Chimoré.
- Suelo: Typic Dystropept, alta saturación de aluminio.

pH (H ₂ O)	Ca	Mg	K	Na	Al	CICE	SATAL ^f	P	N total	Textura
	cmol _c kg ⁻¹						%	ppm	%	
4.8 [§]	1.0	0.2	0.2	0.05	3.8	5.25	72	11	0.18	FYL

[§] 0-20 cm de profundidad

^f Saturación de aluminio

Características del cultivo

- Variedad: cv. Ecuatoriano
- Densidad de Plantación: 1111 plantas ha⁻¹.

Características del experimento

- Tratamientos: combinación factorial de tres sistemas de soporte (espaldera, parral, en "T"), tres dosis de nitrógeno (0, 100 y 200 kg ha⁻¹ año⁻¹) y tres dosis de potasio (0, 100 y 200 kg K₂O ha⁻¹ año⁻¹, equivalentes a 0, 82 y 164 kg K ha⁻¹ año⁻¹).
- Diseño Experimental: Parcelas subdivididas con tres repeticiones. Las parcelas principales correspondieron a los sistemas de soporte, las sub parcelas a las dosis de nitrógeno y las sub sub parcelas a las dosis de potasio.

Fuentes y forma de aplicación de fertilizantes

- Fuentes: la fuente de nitrógeno fue urea y la fuente de potasio KCl
- Frecuencia y forma de aplicación: 40 % del potasio fue aplicado a la plantación. Del primer al tercer mes, fue aplicado 50% del nitrógeno. Al quinto mes fue aplicado el 60 % del potasio y el 50% del nitrógeno.

Análisis realizado por el autor de este trabajo

- Regresiones lineales y no lineales.

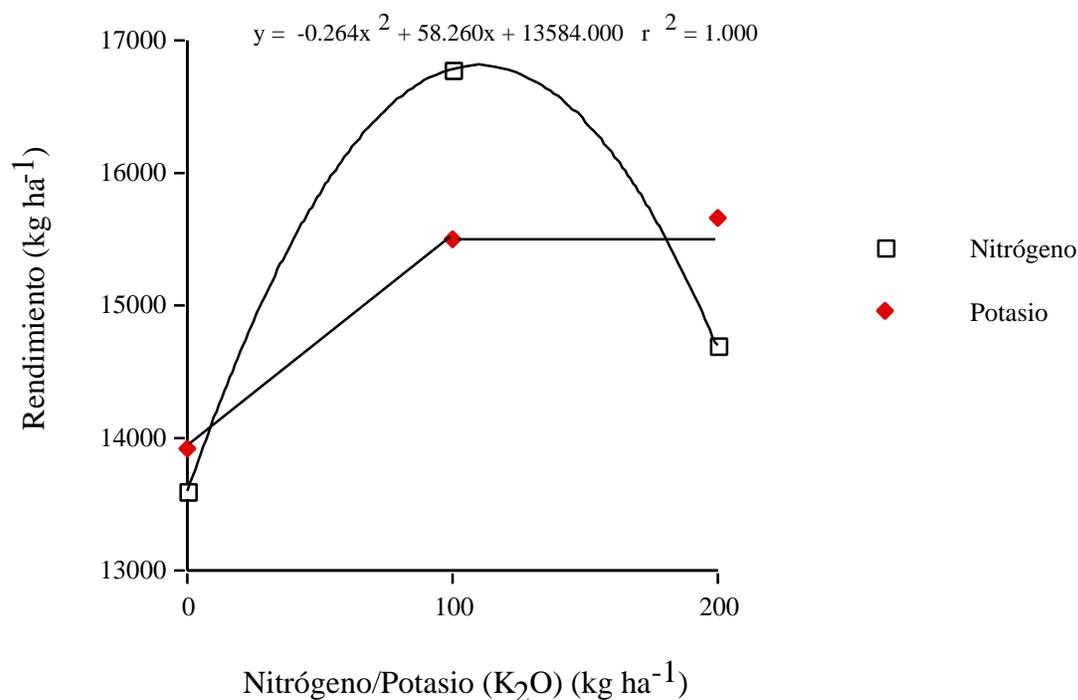


Figura 19. Respuesta de maracuyá amarillo cv. Ecuatoriano a la fertilización con nitrógeno y potasio en un Typic Dystropept (73% saturación de Al) de la Estación Experimental La Jota. Los datos de rendimiento están promediados sobre tres sistemas de soporte. Adaptada de Montaña (1994).

Se observó una respuesta cuadrática a la aplicación de nitrógeno y una respuesta tipo “plateau lineal” a potasio. El máximo rendimiento fue alcanzado con la adición de 100 kg N y 82 kg de K ha⁻¹ año⁻¹ (Figura 19). Estos niveles de fertilización fueron también convenientes desde el punto de vista económico.

Otro experimento de nutrición de maracuyá fue realizado empleando estiércol vacuno y de gallina (gallinaza). Esta investigación fue conducida en el área ganadera del TC, donde además se encuentra ocasionalmente crianzas de aves de corral en confinamiento. Detalles de este experimento se describen a continuación:

Características del sitio experimental

- Uso previo del suelo: Barbecho de un año después de un año de cultivo de maracuyá.
- Localización: Litoral
- Suelo: No se presenta información. Probablemente un Ultisol.

Características del cultivo

- Variedad: Golden Star
- Densidad de Plantación: 1280 plantas ha⁻¹.

Características del experimento

- Tratamientos: Fertilización química (100 y 82 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N y K, respectivamente), fertilización orgánica con estiércol vacuno y gallinaza aportando aproximadamente la misma cantidad de N y K que la aportada con la fertilización química (4.5 kg de materia seca (ms) planta⁻¹ de estiércol vacuno y 3.57 kg de ms planta⁻¹ de gallinaza) y un testigo sin aplicación. Los mencionados tratamientos fueron combinados con dos dosis de dolomita (0 y 700 g planta⁻¹). Todos los tratamientos recibieron fertilización fosforada (11 g P planta⁻¹).
- Diseño Experimental: Parcelas divididas con cuatro repeticiones. Las parcelas principales las dosis de dolomita y las subparcelas la fertilización con fuentes minerales y orgánicas.

Fuentes y forma de aplicación de fertilizantes

- Fuentes: la fuente de nitrógeno fue urea, la fuente de potasio KCl y la fuente de P fosfato biamónico.
- Frecuencia y forma de aplicación: La dolomita fue aplicada antes de la plantación. Los fertilizantes mineral y orgánicos fueron fraccionados en cuatro oportunidades: en la plantación, cuando las plantas alcanzaron el alambre, al inicio de floración y en el pico de producción.

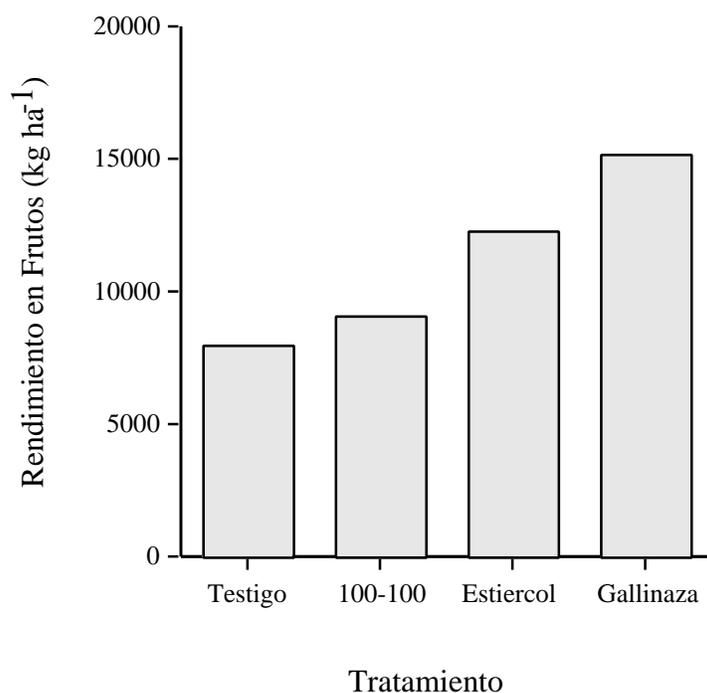


Figura 20. Respuesta del maracuyá amarillo cv. Golden Star a la fertilización mineral y a la fertilización orgánica con estiércol vacuno y gallinaza en un Ultisol de la localidad de Litoral (cuenca del Sacta). Los datos son promedios sobre dosis de dolomita, factor que no afectó significativamente los rendimientos.

Adaptado de Montaña (1999), datos no publicados.

Los rendimientos de fruta en relación a los tratamientos fueron: fertilización con gallinaza>fertilización con estiércol vacuno>fertilización química>testigo sin aplicación (Figura 20). El análisis químico de los estiércoles evidenció una mayor concentración de Ca, K, P, Cu, Zn y Mg en la gallinaza, que en el estiércol vacuno, y una mayor concentración de N en este último. Adicionalmente, los estiércoles contenían otros micro elementos esenciales como Fe y Mn. El aporte adicional de macro (Ca, P, Mg) y micro nutrientes con el uso de estiércoles puede ser una causa para la mayor respuesta a la fertilización orgánica. De particular importancia es la presencia de micro nutrientes en los estiércoles. Algunos de estos elementos, seguramente se encuentran en los suelos del TC en cantidades bajas para el buen desarrollo y producción de los cultivos, y su aporte a través del uso de estiércoles, puede ser de significancia. Cabe aclarar que en ningún cultivo se han realizado experimentos sobre el efecto de la fertilización con micro nutrientes.

Acumulación y Exportación de Nutrientes en el Cultivo de Maracuyá

Existe una mayor acumulación de potasio y nitrógeno en los frutos de maracuyá en comparación con otros nutrientes, lo que indica la necesidad de la fertilización con esos elementos para mantener una buena productividad (Cuadro 18 y Figura 21).

Cuadro 18. Contenido medio de macro y micronutrientes en una tonelada de frutos frescos de maracuyá amarillo. Malavolta (1994)

Macronutrientes	Contenido	Micronutrientes	Contenido
	kg		g
N	1.92	B	26
P	0.39	Cu	14
K	4.08	Fe	213
Ca	0.38	Mn	55
Mg	0.25	Mo	0.2
S	0.13	Zn	77

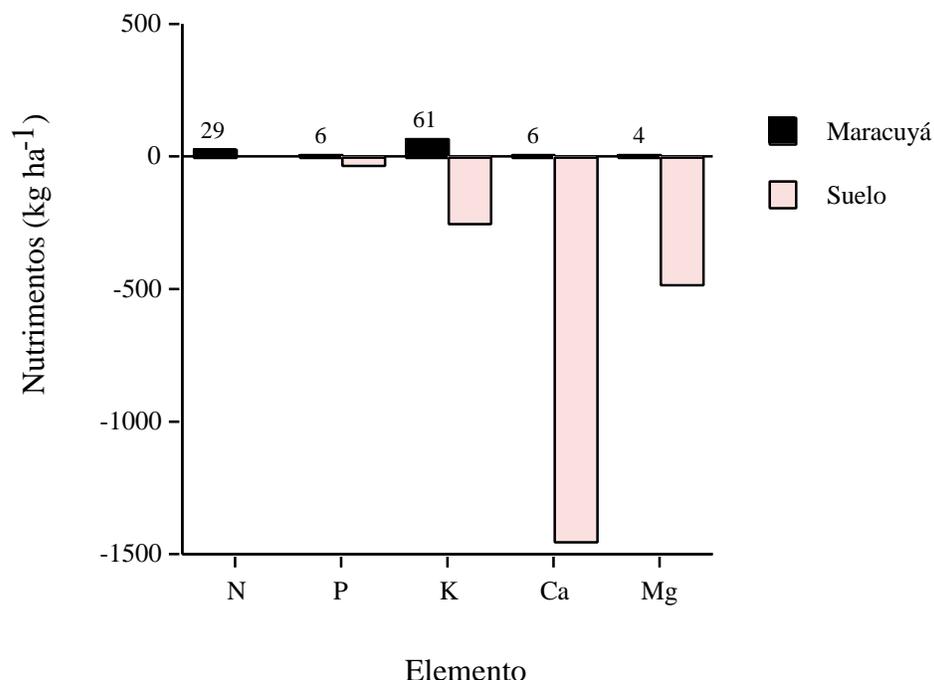


Figura 21. Extracción estimada de nutrientes por hectárea y por año en una plantación de maracuyá con una producción de 15 t ha⁻¹ año⁻¹ y contenido estimado de nutrientes disponibles en un suelo, con contenido promedio de nutrientes, del TC (hasta 50 cm de profundidad).

Nota: La acidez de subsuelo puede restringir el crecimiento de las raíces lo que reduciría la disponibilidad de nutrientes.

Los datos de suelo son adaptados de Monteith (1995).

Niveles Críticos de Nutrientes en Tejidos de Maracuyá

Los niveles críticos internos identificados para el cultivo de maracuyá, se presentan en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Concentración adecuada de nutrientes en la hoja más nueva completamente expandida, en ramas bien desarrolladas y en crecimiento activo en maracuyá amarillo.

Adaptado de Robison (1986) por Malavolta (1994).

Macronutrientes	Concentración	Micronutrientes	Concentración
	%		mg kg ⁻¹
N	4.75-5.25	B	-
P	0.25-0.35	Cu	5-20
K	2.0-2.3	Fe	100-200
Ca	0.5-1.5	Mn	50-200
Mg	-	Mo	-
S	-	Zn	45-50

Diagnóstico de Deficiencias Nutricionales en Maracuyá

Una descripción de los síntomas de deficiencia de macro y micro nutrientes en maracuyá es presentada en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Diagnóstico de deficiencias nutricionales en maracuyá basado en síntomas visuales (Malavolta, 1994).

Nutriente	Síntomas de Deficiencia
N	Hojas de color verde claro; las más viejas se secan y desprenden. Crecimiento débil. Ramas delgadas con tendencia a crecimiento vertical.
P	Hojas viejas de color verde oscuro; después presentan manchas cloróticas que se unen y toda la lámina se vuelve amarilla con pecíolos y nervaduras de color rojo claro.
K	Clorosis y después necrosis en los bordes y ápices de hojas viejas. Las hojas tienden a curvarse hacia abajo. Los zarcillos del tercio inferior y medio se marchitan y se secan, los del tercio superior permanecen verdes y con apariencia leñosa.
Ca	Clorosis internerval uniforme en hojas jóvenes (aspecto de malla); después necrosis entre las nervaduras. Manchas necróticas en yemas. Necrosis de zarcillos del tercio inferior del tallo.
Mg	Hojas viejas con zonas cloróticas entre las nervaduras, después aparece un color marrón, las nervaduras permanecen verdes. Brotes laterales de crecimiento pobre. Los zarcillos se marchitan y secan.
S	Clorosis casi uniforme en hojas jóvenes, quedando pequeñas áreas de color verde entre las nervaduras que, en la cara inferior son rojizas. Ramas más delgadas y leñosas.
Zn	Hojas viejas con manchas cloróticas, más angostas y gruesas. Síntomas progresan de hojas viejas a jóvenes, donde son más intensos. Entrenudos cortos (forma de roseta). Muerte descendente de brotes terminales.
B	Necrosis y atrofiamiento de yema terminal. Hojas jóvenes de menor tamaño, deformadas, coriáceas y onduladas en los bordes.
Cu	Hojas viejas grandes de color verde oscuro, con pérdida parcial de turgencia. Clorosis en los bordes y grandes manchas amarillas entre las nervaduras.
Fe	Clorosis internerval en las hojas nuevas. Ramas jóvenes cloróticas y muerte de yemas.
Mo	Hojas viejas con clorosis internerval. Marcado curvamiento de los bordes de las hojas hacia arriba.

Pimienta

Poca investigación se ha realizado en nutrición mineral de pimienta en el TC. Existe un ensayo que todavía está en evaluación cuyos resultados preliminares se presentan en este trabajo. Las características generales del mismo son descritas seguidamente:

Características del sitio experimental

- Uso previo del suelo: Información no disponible
- Localización: (1) Senda C, (2) Chimorecillo y (3) E.E. La Jota. Todas las localidades están ubicadas en distintas posiciones fisiográficas en la cuenca del río Chimoré.
- Suelo: Las características químicas de los suelos a una profundidad de 0-25 cm se presentan a continuación:

pH (H ₂ O)	Ca	Mg	K	Na	Al	CICE	SATAL ^f	P	mo	Textura
	cmol _c kg ⁻¹						%	ppm	%	
6.3 ¹	5.4	0.9	0.16	0.09	0	6.55	0	17	0.13	-
4.9 ²	2.7	1.0	0.42	0.13	0.6	4.85	12	15	0.14	-
4.0 ³	1.4	0.6	0.26	0.06	1.9	4.62	41	15	0.21	-

¹ Senda C

² Chimorecillo

³ E.E. La Jota

^f Saturación de aluminio

Características del cultivo

- Variedad: cv. Guajarina
 - Senda C: plantación de cuatro años, segundo año de producción
 - Chimorecillo: plantación de cuatro años, segundo año de producción
 - La Jota: plantación de cuatro años, primer año de producción
- Densidad de Plantación:
 - Senda C: 1111 plantas ha⁻¹ (tutor muerto-chanka)
 - Chimorecillo: 1600 plantas ha⁻¹ (tutor muerto-cuchi)
 - La Jota: 1333 plantas ha⁻¹ (tutor vivo-*Erythrina* sp.)

Características del experimento

- Tratamientos: Combinación factorial de tres dosis de nitrógeno (0, 70, 140 kg ha⁻¹ año⁻¹) y tres dosis de potasio (0, 80, 160 kg K₂O ha⁻¹ año⁻¹, equivalentes a 0, 80, 160 kg K, respectivamente).
- Diseño Experimental: Factorial en bloques al azar .

Fuentes y forma de aplicación de fertilizantes

- Fuentes: la fuente de nitrógeno fue urea y la fuente de potasio KCl
- Frecuencia y forma de aplicación:

Análisis realizado por el autor de este trabajo

- Análisis de varianza y regresiones lineales y no lineales.

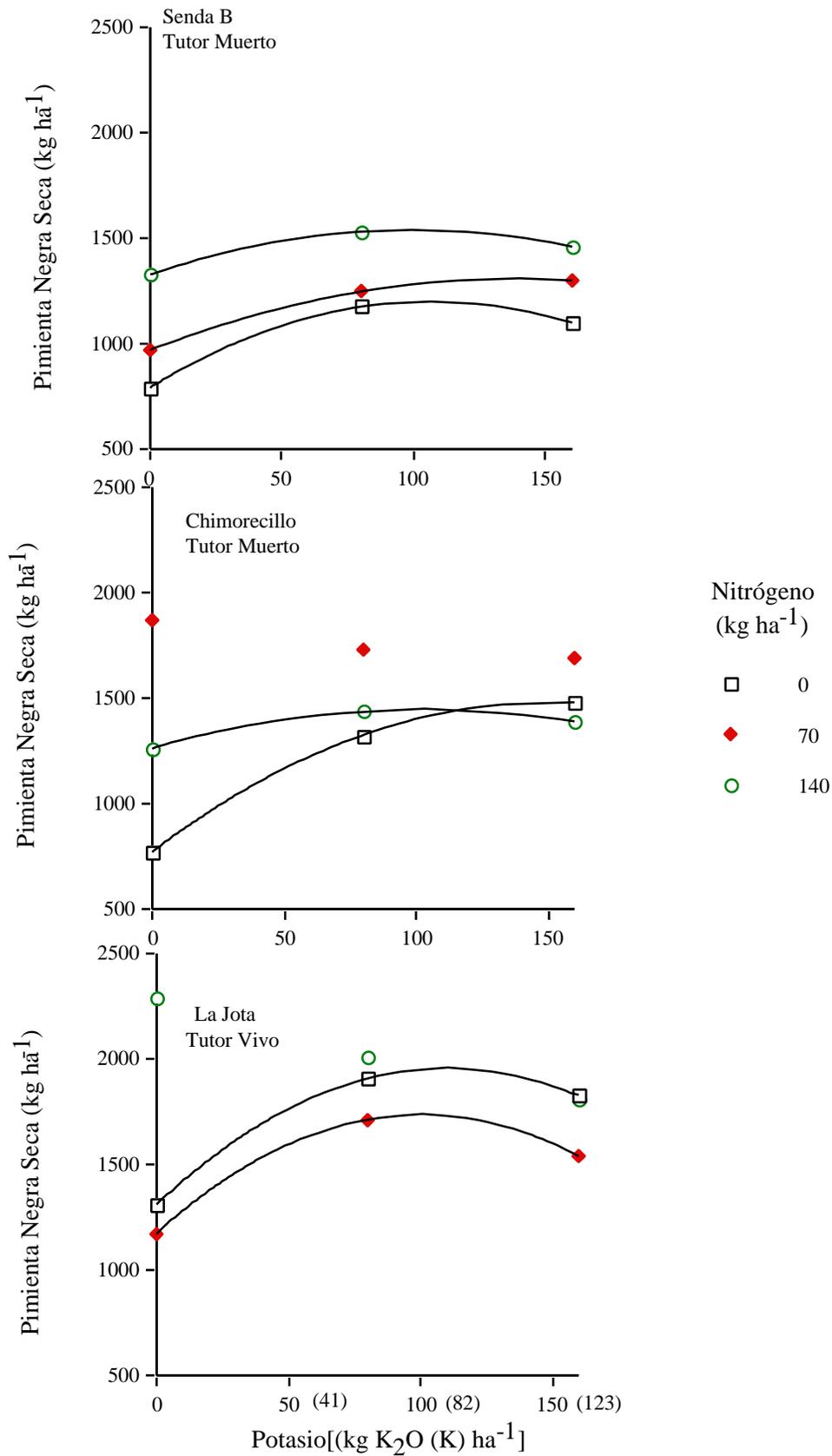


Figura 22. Respuesta a N y K en pimienta cv. Guajarina. Adaptada de Quispe (1999).

En la localidad de Senda C, en presencia de 0, 70 o 140 kg N ha⁻¹ la respuesta a la fertilización potásica fue cuadrática. Se logró un mayor rendimiento con la aplicación de 140 kg ha⁻¹ de N y 66 kg ha⁻¹ de K (Figura 22).

En Chimorecillo, en ausencia de nitrógeno hubo una respuesta marcada a la aplicación de potasio, encontrándose los mayores rendimientos con la aplicación de 132 kg de ese elemento. No hubo respuesta a la aplicación de potasio en presencia de 70 kg de N. Cuando se aplicaron 140 kg de N, se alcanzaron los máximos rendimientos en presencia de 66 kg de K ha⁻¹.

En La Jota, cuando no se aplicó nitrógeno, la respuesta al potasio produjo mayores rendimientos que cuando se emplearon 70 kg ha⁻¹ de N, probablemente debido a un aporte de nitrógeno proveniente del tutor vivo, que fue una leguminosa. Extrañamente, en presencia de 140 kg de N ha⁻¹, hubo una tendencia a la disminución de rendimientos a medida que se incrementó la fertilización potásica. La presencia de tutor vivo en esta localidad, no parece disminuir los rendimientos, si se realiza la comparación con los rendimientos obtenidos con tutor muerto en Senda C y Chimorecillo. Es necesario estudiar con más detalle la interacción entre el tutor vivo y la pimienta para comprender mejor la respuesta de la pimienta a la fertilización.

En líneas generales, parece haber una mayor respuesta en rendimiento al aplicar 140 y 66 kg ha⁻¹ año⁻¹ de nitrógeno y potasio, respectivamente. Estos resultados pueden tomarse como preliminares debiendo complementarse con análisis económico y obteniendo un par de cosechas más.

Acumulación y exportación de Nutrientes en el Cultivo de la Pimienta

Una plantación de pimienta intensivamente manejada acumula una cantidad significativa de nitrógeno y potasio en los frutos que son cosechados y exportados del sistema (Cuadro 21). La Figura 23 ilustra el hecho que para obtener rendimientos altos por un tiempo prolongado, la fertilización nitrogenada y potásica serán esenciales. Después de algunos años de explotación, es probable que se necesite también fertilización fosforada.

Cuadro 21. Exportación de nutrientes en una plantación vigorosa de pimienta cv. Kuching con una densidad de 1.750 plantas por hectárea en tutor muerto (De Geus, 1973).

Nutriente	Exportación en Cosecha (kg ha⁻¹)
Nitrógeno	252
Fósforo	14
Potasio	184
Calcio	48
Magnesio	36

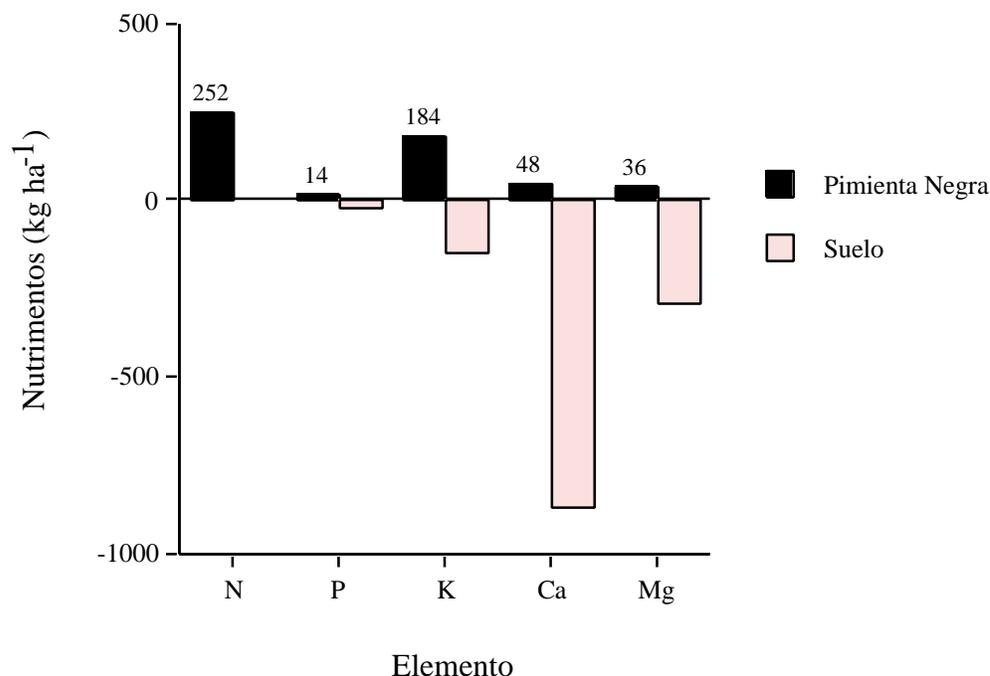


Figura 23. Extracción estimada de nutrientes por hectárea y por año en una plantación de pimienta y contenido estimado de nutrientes disponibles en un suelo, con contenido promedio de nutrientes, del TC (hasta 30 cm de profundidad).

Nota: La acidez de subsuelo puede restringir el crecimiento de las raíces lo que reduciría la disponibilidad de nutrientes.

Los datos de suelo son adaptados de Monteith (1995).

Los niveles críticos internos determinados para el cultivo de pimienta son expuestos en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Niveles críticos en tejidos de pimienta (variedad no determinada). Adaptado de De Geus, 1973).

Elemento	Normal	Crítica	Deficiente
	-----% en la materia seca-----		
Nitrógeno	3.10 – 3.40	2.70 – 2.80	< 2.70
Fósforo	0.16 – 0.18	0.10 – 0.14	< 0.10
Potasio	3.40 – 4.30	2.00 – 2.62	< 2.00
Calcio	1.66 – 1.68	1.00 – 1.20	< 1.00
Magnesio	0.44 – 0.45	0.20 – 0.30	< 0.20

Resumen de Recomendaciones de Fertilización para los Cultivos Priorizados del TC

El Cuadro 23 presenta un resumen de los niveles de fertilización con macro nutrientes para el TC y otras regiones tropicales del mundo, para comparación. Es necesario validar las recomendaciones actuales para el TC en varias localidades, con distintos tipos de suelo. También es necesario realizar análisis económicos para ajustar las recomendaciones.

Cuadro 23. Recomendaciones locales y de otras regiones tropicales del mundo para la fertilización de los cultivos comerciales priorizados para el TC. Las recomendaciones para el TC, necesitan ser validadas multilocacionalmente y algunas son preliminares.

Cultivo	Variedad	Lugar	-----Kg ha ⁻¹ año ⁻¹ -----						Fuente
			N	P	K	Ca	Mg	S	
Banano	G. Naine	Senda B San Luis	200	nd §	328	nd	nd	nd	Quispe, 1993; Escobar, 1993 y Vargas, 1996
	Cavendish	Costa Rica	350-400	0-44	400-570	0-800	0-330	60-100	López y Espinosa, 1995
	Dwarf Cavendish	Mozambique	200	22-44	82-492	nd	nd	nd	De Geus, 1973
	Cavendish	Sao Paulo, Brasil	250-500	55-105	400-780	nd	nd	nd	IFIA, 1992
Piña	Cayena Lisa	Suipacha	> 450	nd	600	nd	nd	nd	Vargas <i>et al.</i> , 1999
	C. Lisa	Sud Africa	275-550	130	225-290	nd	nd	nd	De Geus, 1973
	C. Lisa	Taiwan	600	53	492	nd	nd	nd	IFIA, 1992
	C. Lisa	India	320-530	18-90	260-540	nd	nd	nd	IFIA, 1992
Palmito	nd	La Jota (4444 y	50	nd	nd	nd	nd	nd	Tames (datos no publicados)

		5333 pl ha ⁻¹)							
		La Jota (6667 pl ha ⁻¹)	100	nd	nd	nd	nd	nd	Tames (datos no publicados)
	nd	TC	150-300	nd	50-100	nd	nd	nd	A. Quiroga, com. personal
	nd	Costa Rica	200-400	22-44	49-123	nd	50-100	40-80	Alvarado y Salas, 1998
Maracuyá	Amarillo	LA JOTA	100	nd	82	nd	nd	nd	Montaño, 1994
		Brasil	67	12	55	nd	nd	nd	Malavolta, 1994
Pimienta	Guajarina	TC	140 §§	nd	66	nd	nd	nd	Quispe (1999)
	Bragantina	Brasil (1600 pl ha ⁻¹)	120	96	115	nd	nd	nd	EMBRAPA, 1995
	nd	India	330	160	140	nd	nd	nd	De Geus, 1973

§ no determinado

§§ datos preliminares

Otras Consideraciones Para Realizar Recomendaciones de Fertilización en Cultivos en el TC

Un factor a tomarse en cuenta al realizar recomendaciones de fertilización es el costo de los fertilizantes. Bolivia es el país latinoamericano donde los fertilizantes son más caros (Cuadro 24) lo que hace aún más importante efectuar análisis económicos y dar recomendaciones de fertilización basadas en estudios bien planificados, para mejorar la eficiencia en el uso de estos insumos tan necesarios para la obtención de altos rendimientos y buena calidad, pero también tan costosos.

Cuadro 24. Precio promedio por kilogramo de nitrógeno y fósforo (como P₂O₅) de fertilizantes minerales en distintos países Latinoamericanos.

País	Costo por kilogramo de N/P₂O₅ (\$US)
Bolivia	0.95
Paraguay	0.70
Chile	0.58
Uruguay	0.57
Argentina	0.56
Brasil	0.55
Perú	0.53
Colombia	0.50
Ecuador	0.47
Venezuela	0.46
México	0.45

Adaptado de FAO (1997)

OTRAS RECOMENDACIONES

En investigación, la buena planificación de los experimentos es vital para la obtención de resultados confiables. Antes de comenzar cualquier experimento hay que tener claras cuales son las preguntas que se quiere responder al realizarlo, y también hay que tener claras qué variables de respuesta se van a evaluar, cómo y con qué frecuencia. Hay que tener especial cuidado en la recolección y procesamiento de datos y hay que publicar los resultados. Las investigaciones no publicadas son generalmente inútiles o totalmente sub-utilizadas. Si se desea publicar información para una audiencia de técnicos, empresarios privados o agricultores progresistas, es necesario que se haga una edición técnica rigurosa del material a publicar. Las publicaciones para una audiencia de productores también deben llevar información obtenida de investigaciones correctamente conducidas, presentada apropiadamente para una fácil comprensión.

Literatura Citada

- Alvarado, A. 1986. Manejo de suelos en el Chapare. Boletín Técnico N° 3. Proyecto IBTA/Chapare. 21p.
- Alvarado, A. y J. Guevara. 1988. Variación de la temperatura del suelo en la Estación Experimental Chipiriri (1974-1977). IBTA-Chapare, Boletín Técnico N° 8. 6p.
- Alvarado, A. y R. Salas. 1998. Land use management and policy in Central America with special reference to the atlantic zone of Costa Rica. *In*: Smyth, T.J. (ed) Summary report of the program-planing workshop:decission aids for integrated soil nutrient management project. Soil Management CRSP, 1-3, December 1997, Honolulu, Hawaii. 10 p.
- Ayala, E. y A. Alvarado. 1990. Respuesta de los cultivos anuales a la fertilización y al encalado en el Chapare. *In*: I Seminario Nacional Sobre Fertilidad de Suelos y Uso de Fertilizantes en Bolivia. Santa Cruz, Bolivia, febrero 1990. pp. 371-390.
- Baligar, V.C. y O.L. Bennet. 1986. Outlook on fertilizer use efficiency in the tropics. *Fertilizer Research* 10:83-96.
- Baligar, V.C., Duncan, R.R. y N.K. Fageria. 1990. Soil-plant interaction on nutrient use efficiency in plants: an overview. *Crops as Enhancers of Nutrient Use*. Academic Press. Pp. 351-373.
- Bennet, R.J. y C.M. Breen. 1991. The aluminum signal: new dimensions to mechanisms of aluminum tolerance. *In* R.J. Wrigth *et al.* (Eds.) *Plant-Soil Interactions at Low pH*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. pp. 703-716.
- Borries Von, O. 1984. Estudio forestal proyecto Chapare. Informe para USAID/Bolivia. 182 p (mimeo).
- Brown, D.A. y H. D. Scott. 1984. Dependence of crop growth and yield on root development and activity. *In*: S.A. Barber y D.R. Bouldin Eds. *Roots, Nutrient and Water Influx, and Plant Growth*. ASA Special Publication Number 49. pp. 101-136
- Buol, S.W. (sin fecha, pero después de 1986). Fertility capability classification system and its utilization. *Asialand* pp.317-331.
- Clarkson, D.T. y J.B. Hanson. 1980. The mineral nutrition of higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol* 31:239-298.
- Cochrane, T.T. 1982. Caracterización agroecológica para el desarrollo de pasturas en suelos ácidos de América tropical. *In* J.M. Toledo Ed. *Manual para la Evaluación Agronómica*, Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. Cali, Colombia, CIAT. Pp. 23-44.
- CUMAT. 1989. Evaluación del impacto ambiental para el mantenimiento y mejoramiento de caminos vecinales en el Chapare. Informe para USAID/Bolivia y PDAC. La Paz, Bolivia. 31p.
- De Geus, J.G. 1973. Fertilizer guide for the tropics and subtropics. Centre d'Etude de l'Azote, Zurich, Suiza. 774 p.
- EMBRAPA. 1995. A cultura da pimenta do reino. Servico de Producao de Informacao-SPI, Brasília-DF. 58p.
- FAO. 1997. Hacia una estrategia de fertilizantes para Bolivia. Proyecto Fertisuelos. La Paz, Bolivia. p. irr.
- Ferrufino, A., Lennis, J. y J. Vallejos. 1992. Algunas características ecológicas del Chapare. IBTA-Chapare, Boletín Técnico N° 26. 9p.

- Ferrufino, A., Vallejos, A. y S. Beck. 1991. Leguminosas nativas con potencial forrajero en el trópico húmedo de Cochabamba y Santa Cruz, Bolivia. *Pasturas Tropicales* (Colombia).
- Ferrufino, A. y A. Alvarado. 1990. Fósforo y pasturas en la región del Chapare. *In: I Seminario Nacional Sobre Fertilidad de Suelos y Uso de Fertilizantes en Bolivia*. Santa Cruz, Bolivia, febrero 1990. pp 391-402.
- Foy, C.D. 1992. Soil chemical factors limiting plant root growth. *Advances in Soil Science* 19:97-149.
- Herrera, W. 1989. Fertilización del pejibaye para palmito. Serie Técnica Pejibaye Universidad de Costa Rica, San José. Boletín Informativo 1(2):5-10.
- IBTA/Chapare. 1993. Niveles de fertilización de N-K en cultivares de banano gran enano y williams. Informe Técnico Anual, Estación Experimental La Jota. pp. 28-37
- International Fertilizer Industry Association (IFIA). World fertilizer use manual. Paris. 632 p.
- Kamprath, E.J. Crop response to lime on soils in the tropic. *In F. Adams Ed. Soil Acidity and Liming*, segunda Edición. pp. 349-368.
- Kinraide, T.B. 1991. Identity of the rhizotoxic aluminium species. *Plant and Soil* 134:167-178.
- Lacoeuille, J.J. 1987. Pineapple. *In: P. Martin-Prével, J. Gagnard and P. Gautier Eds. Plant Analysis as a Guide to the Nutrient Requirements of Temperate and Tropical Crops*. Paris, Francia, Lavoisier. pp 601-617.
- Lahav, E. y D.W. Turner. 1992. Fertilización del banano para rendimientos altos. Instituto Internacional de la Potasa y el Fósforo, Boletín No 7 segunda edición. 71p.
- Logan, J. 1993. Análisis agroclimatológico del departamento de Cochabamba. CORDEP-DAI. P.irr.
- López, A. Y J. Espinosa. 1995. Manual de nutrición y fertilización del banano. Instituto de la Potasa y el Fósforo y Corporación Bananera Nacional (Costa Rica). Quito, Ecuador. 82p.
- Malavolta, E. 1994. Nutrición y fertilización del maracuyá. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Quito, Ecuador. 52p.
- Maldonado, Y. 1998. Respuesta a la aplicación de N y K en forma foliar y sólida al suelo en el cultivo de la piña (cv. Cayena lisa) en tres localidades del Chapare. *Revista "La Jota"* 2(2):27-31
- Marchall, J. y R. Mallessard. 1979. Comparaison des immobilisations mineéres de quatre cultivars de bananiers a fruits pou cuisson et de deux "Cavendish". *Fruits* 34(6):373-392.
- Mc Bride, M.B. 1994. Environmental chemistry of soils. Oxford University Press, New York. 406 p.
- Mc Caffrey, D. 1983. Forest production and natural resources protection in the Chapare. Preliminary report to USAID/Bolivia. 18p.
- Mc Collum. 1993. Soil fertility research on priority crops in the Chapare. DAI-Informe de consultoría. 25p.
- Mengel, K. Y E.A. Kirby. 1987. Principles of plant nutrition. Berna, Suiza, International Potash Institute. 687 p.

- Molina, E. 1999. Suelos, nutrición mineral y fertilización. In Jorge Mora Urpí y Javier Gainza Echeverría (Eds.) Palmito de Pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth): su cultivo e industrialización. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. pp 78-94.
- Molina, E. 1999. Suelos, nutrición mineral y fertilización. In Jorge Mora Urpí y Javier Gainza (Eds.) Palmito de Pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth): su Cultivo e Industrialización. San José, Costa Rica, Editorial de la Universidad de Costa Rica. pp. 78-94.
- Montaño, R. 1999. Respuesta del maracuyá a la aplicación de abonos orgánicos, dolomita y fertilización química en suelos esquilados. IBTA/Chapare, Estación Experimental La Jota. Información no publicada.
- Montaño, R.Y. 1994. Respuesta del maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Deg.) a la fertilización nitrogenada y potásica en tres sistemas de soporte. Tesis de Ingeniero Agrónomo, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia. 91p.
- Monteith, S.E y A. Quiroga. 1993. Mapping of Chapare soils by the FCC. DAI, Informe de Consultoría. 23p.
- Monteith, S.E. 1993. Classification and mapping of soils by the FCC system in the Chapare microregion 3. Explanation of FCC system, and interpretations for management of crops by FCC units. DAI, Informe de Consultoría. 26p.
- Monteith, S.E. 1994. Soil mapping and interpretation for priority crops using the fertility capability classification system (FCC) in Chapare microregions I and IV. DAI, Informe de Consultoría. 29p.
- Monteith, S.E. 1995. Influences of parent material and time on soil properties in a perudic area of the Bolivian amazon basin. Ph.D. Dissertation, North Carolina State University, Raleigh. 169p.
- Monteith, S.E. 1995. Uso de los mapas FCC del Chapare para manejo de cultivos prioritarios. DAI, Informe de Consultoría. 45p.
- Morris, G.L. 1983. Climate and fluvial morphology in the Chapare region, Bolivia. Report to USAID/Bolivia. 32p.
- Pinto, E. 1982. Estudio pluviométrico del departamento de Cochabamba. Tesis Ing. Agr., Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.
- PRAEDAC. 1999. Mapa de plan de vuelo aerofotogramétrico.
- PRODES. 1980. Estudio integrado de recursos naturales, Chapare, Bolivia. Servicio Nacional de Aerofotogrametría, Fuerza Aérea Boliviana. La Paz, Bolivia.
- Py, C., Lacoëuilhe, J.J. y C. Teisson. 1987. The pineapple cultivation and uses. Paris, Francia, Maisonneuve & Larose. 568 p.
- Quispe, A. 1993. Respuesta del banano clon "Gran Enano" a la fertilización nitrogenada y potásica en suelos de Senda B. Informe Anual 1993, Estación Experimental La Jota, IBTA/Chapare. p. irr.
- Quispe, A. 1999. Niveles de fertilización de N-K en pimienta variedad Guajarina en tres localidades. IBTA/Chapare, Estación Experimental La Jota. Información no publicada.
- Rojas, M. 1989. Recuperación de bananales sobreexplotados con la fertilización nitrogenada y potásica. Informe Anual 1988-1989, Estación Experimental La Jota, IBTA/Chapare. p. irr.
- Sánchez, P.A., Couto, W. y S.W. Buol. 1982. The fertility capability soil classification system: interpretation, applicability and modification. Geoderma 27:283-309.

- Soto, C. 1996. Levantamiento general de suelos y clasificación de tierras para agricultura a secano y pasturas de las subregiones II, VI y VII. Proyecto IBTA/Chapare. 170 p.
- Soto, C. y W. Vargas. 1999. Levantamiento general de suelos y clasificación de tierras para agricultura a secano y pasturas de las subregiones II, VI y VII del trópico de Cochabamba. Trabajo presentado en el I Congreso de la Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo. La Paz, Bolivia. 19p.
- Soto, G. 1999. Analysis of the data collected in the experiment residue decomposition-nutrient release experiment. SM-CRSP Project Decision Aids for Integrated Nutrient Management. North Carolina State University. 13 p.
- Tames, O. 1995. Niveles de fertilización y distancias de plantación de pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K.) para producción de palmito. IBTA/Chapare, Estación Experimental La Jota. Información no publicada.
- Tosi Jr., J.A. 1983. Ecology and land capability analysis of the Chapare project area. A report of USAID/Bolivia. 70p.
- Vargas, W, Maldonado, Y. y A. Ferrufino. 1999. Fertilización nitrogenada y potásica en piña. IBTA/Chapare, Estación Experimental La Jota. Datos no publicados.
- Vargas, W. 1996. Respuesta del banano clon "Gran Naine" a la fertilización nitrogenada y potásica en la localidad de Senda B. IBTA/Chapare, Informe Anual Estación Experimental La Jota. p. irr.
- Vélez-Ramos, A., Márquez, P. y C. Chao de Báez. 1991. Effect of N and K levels and planting density on pineapple fruit yield and quality. The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 75(4):319-328.
- Von Uexkull, H.R. 1985. Potassium nutrition of some tropical plantation crops. In: Robert D. Munson Ed. Potassium in Agriculture. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp. 929-954.
- Zobel, R.W. 1993. Stress resistance and root systems. Proceedings of Workshop on adaptation of Plants to Soil Stresses held at University of Nebraska, Lincoln, August 1-4, 1993. INTSORMIL, publication No. 94-2. pp 80-100.